



RV AKADEMIK MSTISLAV KELDYSH

FAHRTBERICHT Reise 40

**STABILITÄT UND KLIMARELEVANZ OZEANISCHER GASHYDRATE:
UNTERSUCHUNGEN MIT TIEFSEETAUCHBOOTEN
AM NORWEGISCHEN KONTINENTALHANG**

**KOPENHAGEN - TROMSØ
27. JUNI - 29. JULI 1998**

**Herausgegeben von
Jürgen Mienert, Andreas Omlin, Timo Götz, Dirk Lukas, Jörg Posewang
mit Beiträgen der Fahrtteilnehmer**

GEOMAR
Forschungszentrum
für marine Geowissenschaften
der Christian-Albrechts-Universität
zu Kiel

KIEL 1999
GEOMAR REPORT 92

GEOMAR
Research Center
for Marine Geosciences
Christian Albrechts University
in Kiel

Redaktion dieses Reports:
Jürgen Mienert, Andreas Omlin, Dirk Lukas und
Gerhard Haass

Editors of this issue:
Jürgen Mienert, Andreas Omlin, Dirk Lukas, and
Gerhard Haass

GEOMAR REPORT
ISSN 0936 - 5788

GEOMAR REPORT
ISSN 0936 - 5788

GEOMAR
Forschungszentrum
für marine Geowissenschaften
Wischhofstr. 1-3
D - 24148 Kiel
Tel. (0431) 600-2555, 600-2505

GEOMAR
Research Center
for Marine Geosciences
Wischhofstr. 1-3
D - 24148 Kiel
Tel. (49) 431 / 600-2555, 600-2505

BMBF-Projekt 03G0537A:

**Stabilität und Klimarelevanz ozeanischer Gashydrate:
Untersuchungen mit Tiefseetauchbooten am norwegischen Kontinentalhang**

Fahrtbericht

RV Akademik Mstislav Keldysh



Reise Nr. 40

Norwegisch-Grönländische See

27. Juni 1998 – 29. Juli 1998

Kopenhagen - Tromsø

J. Mienert

A. Omlin, T. Götz, D. Lukas, J. Posewang



Forschungszentrum für marine Geowissenschaften

Inhaltsverzeichnis

	Inhaltsverzeichnis
1	Zusammenfassung.....
2	Einleitung.....
2.1	Ozeanische Gashydrate
2.2	Wissenschaftliches Programm
3	Fahrtverlauf.....
4	Untersuchungsgebiete
4.1	Storegga Rutschmasse.....
4.2	Håkon Mosby Schlammvulkan (HMMV).....
4.3	Knipovich Rücken.....
4.4	Vestnesa Rücken
5	Eingesetzte Geräte
5.1	Die Tauchboote MIR 1 und MIR 2
5.2	Die Methansensoren – ‘METS’
5.3	Die verankerten Meßstationen
5.4	Die weiteren Arbeitsgeräte.....
6	Arbeitsprogramm
6.1	Storegga Rutschmasse.....
6.1.1	Station 1: Schlammvulkan
6.1.2	Station 2: Rutschungs-Escarpment.....
6.1.3	Station 3: Pockmarks.....
6.2	Håkon Mosby Schlammvulkan
6.3	Knipovich Rücken.....
6.4	Vestnesa Rücken
7	Erste Ergebnisse.....
7.1	Storegga Rutschmasse.....
7.1.1	Station 1: Schlammvulkan
7.1.2	Station 2: Rutschungs-Escarpment.....
7.1.3	Station 3: Gasaustrittszonen (Pockmarks).....
7.1.4	Zusammenfassung: Storegga Rutschmasse
7.2	Håkon Mosby Schlammvulkan (HMMV).....
7.3	Vestnesa Rücken
8	Schlußbetrachtung und Ausblick
9	Teilnehmerliste
10	Dank.....
11	Abbildungsverzeichnis.....
12	Literaturverzeichnis
13	ANHANG: Liste aller Stationen.....

1 Zusammenfassung

Die 40. Keldysh-Forschungsfahrt bildete den Auftakt des BMBF-Projektes 'Stabilität und Klimarelevanz ozeanischer Gashydrate: Untersuchungen mit Tiefseetauchbooten am norwegischen Kontinentalhang' und diente der Datenakquisition mittels exakter in-situ-Untersuchungen. An dieser internationalen Ausfahrt nahmen Wissenschaftler aus Deutschland, Rußland, Norwegen und den Vereinigten Staaten von Amerika teil. Während des Untersuchungszeitraumes von nahezu fünf Wochen wurden vier unterschiedliche Untersuchungsgebiete angelaufen: der Nordrand der *Storegga Rutschmasse*, der *Håkon Mosby Schlammvulkan* im Bäreninsel-Sedimentfächer, der *Knipovich Rücken* als nördlichste Sektion des Mittelozeanischen Rückens in der Norwegisch-Grönländischen See und der *Vestnesa Rücken* in der Fram Straße.

Im Mittelpunkt der Forschungsinteressen unserer Arbeitsgruppe steht zunächst das Quantifizieren von Gashydratvorkommen. Diese ist essentiell für das Verständnis der Stabilität von Kontinentalhängen und der Relevanz von Gashydraten für das weltweite Klima. Einen weiteren Schwerpunkt stellt das Erkennen und Modellieren von Gaseinträgen in die Wassersäule sowie deren räumliche Verteilung im Wasser dar. Hierüber sollen Aussagen über den Eintrag von Methan in die Ozeanosphäre und ggf. darüber hinaus in die Atmosphäre getroffen werden.

Die Untersuchungen und die Auswahl der Lokationen bauen auf zahlreiche Voruntersuchungen auf (Mienert et al., 1998; Vogt et al., 1997). Insbesondere indirekte, geophysikalische Verfahren wie Reflexionsseismik, OBH-Registrierungen und Seitensichtsonar-Aufnahmen konnten bereits wichtige Ergebnisse im Vorfeld des Projektes liefern. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse sollen überprüft und ergänzt werden. Geochemische, geologische, ozeanographische, hydrobiologische und weitere geophysikalische Daten wurden während der Ausfahrt an Bord des FS A.M. Keldysh registriert und stehen nun für die weitere Analyse zur Verfügung. Der Einsatz von bemannten Tiefseetauchbooten ermöglichte hierbei Untersuchungen direkt am Meeresboden. Verschiedene Registrierungen konnten zur selben Zeit am selben Ort durchgeführt werden, wodurch sich die Möglichkeit zur exakten Korrelation zwischen den einzelnen Datensätzen eröffnet. Durch Operationen allein von der Meeresoberfläche aus hätte dieser einzigartige Datensatz nicht gewonnen werden können.

Die wichtigsten, vorläufigen Ergebnisse:

- Im Untersuchungsgebiet *Storegga* konnten keine Anzeichen für aktive Gas- oder Fluidaustritte festgestellt werden. Verschiedene Indikatoren deuten jedoch darauf hin, daß solche Prozesse in der jüngsten Vergangenheit in diesem Gebiet stattgefunden haben.
- Am *Håkon Mosby Schlammvulkan* findet aktiver Methaneintrag in die Ozeanosphäre statt, was insbesondere durch die weit verbreiteten Bakterienmatten sowie durch die mittels Wasseranalysen und Methansensoren ermittelten erhöhten Methankonzentrationen belegt werden kann, wobei die Zonen im Meeresboden mit erhöhtem Wärmefluß wahrscheinlich besonders aktive Austrittsflächen anzeigen.
- Am *Vestnesa Rücken* zeigen sich ebenfalls deutliche Anzeichen für aktive Methanaustritte. Diese sind jedoch auf einige, fleckenhafte Bereiche verteilt. Zusammen mit den Wasseranalysen und Methansensormessungen ergibt sich, daß der Methaneintrag in die Ozeanosphäre im Untersuchungsraum stark fokussiert auftritt.

In diesem Bericht werden neben der Erläuterung des wissenschaftlichen Programms die durchgeführten Arbeiten und die ersten Ergebnisse vorgestellt.

2 Einleitung

2.1 Ozeanische Gashydrate

Als Gashydrat bezeichnet man die eisähnliche feste Phase eines Gemisches aus Wasser und natürlichen Gasen wie Kohlendioxid, Schwefelwasserstoff oder diversen Kohlenwasserstoffen, allen voran Methan. Die Gasmoleküle sind in Käfigen eines aus Wasser gebildeten Gitters eingeschlossen. Das eingeschlossene Gas stabilisiert einerseits das Gitter gegen sehr hohe Drücke, wird aber auch andererseits von diesem auf engstem Raum zusammengehalten. Gashydrate, im folgenden auch Clathrate genannt, stellen in der Natur vorkommende Gasspeicher dar.

Daß Methan-Hydrat mehr als 90 % der natürlichen Hydrate ausmacht, begründet die Bedeutung der Hydrate als mögliche Energiequelle der Zukunft. Weil Methan-Hydrat nur bei Drücken oberhalb 2 MPa und bei Temperaturen um 0°C beständig ist, ist es vor allem im Porenraum submariner Sedimente aufzufinden. Die Existenz der Gashydrate in Sedimenten resultiert - bei Vorliegen der geeigneten Druck- und Temperaturbedingungen - aus dem Auftreten geeigneter Gasgemische. Mit Hilfe einer Stabilitätskurve (Abbildung 1) lassen sich alle Zustände des Phasenübergangs vom Clathrat zum Gas-Wasser-Gemisch in einem Druck-Temperaturdiagramm beschreiben. Angewandt auf ein reales Temperatur-Tiefenprofil, das den Temperaturverlauf in der Wassersäule und dem darunter liegenden Meeresboden wiedergibt, läßt sich mit der Stabilitätskurve der Teufenbereich abgrenzen, in dem Gashydrat aufgrund der physikalischen Bedingungen stabil sein kann, die sogenannte 'Hydrat-Stabilitäts-Zone' (HSZ). Die Kohlenwasserstoffe, die innerhalb der HSZ in Clathraten gebunden werden, stammen aus zwei möglichen Quellen: zum einen aus biogenen Fäulnisprozessen innerhalb submariner Sedimente, besonders in Gebieten mit hoher Ablagerungsrate organischen Materials, und zum anderen aus der thermogenen Gaszufuhr aus tieferen Regionen. Dies überwiegt im Falle aktiver

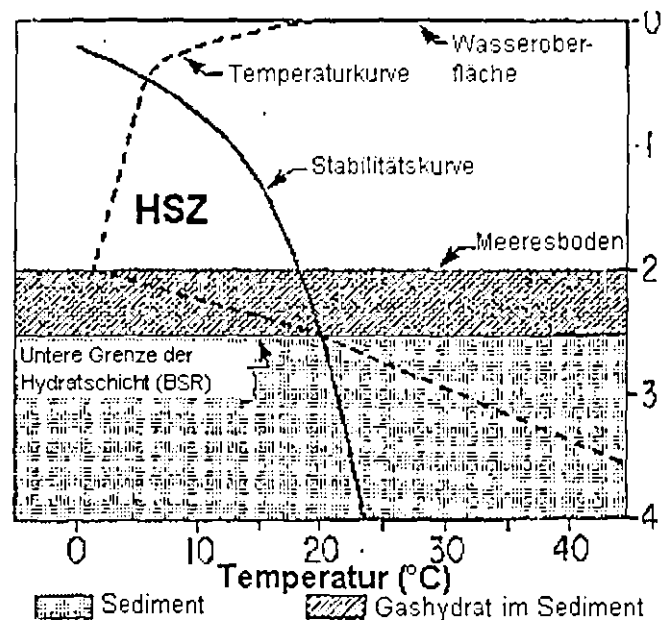


Abbildung 1: Stabilitätskurve für Gashydrate;
modifiziert aus: U.S. Geological Survey,
<http://abacus.er.usgs.gov/hydrates/what.html>

Kontinentalränder. Über die vorherrschende Art der Gaszufuhr in einer bestimmten Region gibt insbesondere die chemische Zusammensetzung des hydratgebundenen Gases Auskunft, da die biogene Gaserzeugung fast nur Methan liefert, während aufsteigende Tiefengase auch große Anteile längerkettiger Kohlenwasserstoffe enthalten (Brooks et al., 1983; Brooks et al., 1991).

Gashydrat in den Porenräumen submariner Sedimente führt zu einer Verfestigung der Sedimente, so daß es sowohl der Kompaktierung durch gewachsene Auflast wie auch dem Abrutschen in Hanglagen entgegenwirkt (McIver, 1982; Bugge, 1983; Dillon et al., 1994). Geophysikalisch lassen sich Clathrate indirekt über diesen Effekt der 'Zementierung', welcher erhöhte Kompressionswellengeschwindigkeiten hervorruft (Pearson et al., 1983; Lee et al., 1993), lokalisieren; Sedimentlagen mit anomal hohen Geschwindigkeiten stellen daher die Präsenz von Gashydraten in Aussicht. Weiterhin wird die Aufzeichnung eines sogenannten 'Bottom Simulating Reflector' (BSR) heute allgemein als Indikator für eine Grenzschicht zwischen hydrathaltigen (oben) und gashaltigen (unten) Sedimenten akzeptiert (Hollister und Ewing, 1972; Shipley et al., 1979; MacKay et al., 1994). Als BSR bezeichnet man einen seismischen Horizont von meist relativ hoher Amplitude, der sich durch einen Phasensprung auszeichnet und der dem Verlauf des Meeresbodens folgt, wobei er lithologische Schichtungen zu kreuzen vermag (Dillon et al., 1993). Allerdings ist die Auffindbarkeit eines BSR auch in Anwesenheit von Gashydraten nicht notwendig gegeben und - wie sich unlängst an der Storegga Rutschmasse zeigte - auch nicht immer hinreichend für die direkte Beprobbarkeit der Hydrate (Mienert und Bryn, 1998). Daher eignen sich seismische Messungen allein bislang nicht zum direkten Quantifizieren der Hydrat-Vorkommen.

Die Analyse von Kernen aus Tiefseebohrungen liefert zum einen Daten über die chemische Zusammensetzung und die Stabilität extrahierter Hydrate, zum anderen erlaubt sie einen detaillierteren Einblick in die innere (vertikale) Struktur des natürlichen 'Lebensraumes' der Clathrate. Eine Extraktion der Kerne aus der HSZ, d.h. die Überführung der Kerne in eine subaerische Umgebung, geht jedoch mit einem raschen Zerfall der Gashydrate auf dem Weg ins Labor einher. Abhilfe versprechen hier in-situ-Meßgeräte, welche etwa die Temperatur, die elektrische Leitfähigkeit oder die seismische Geschwindigkeit hochaufgelöst direkt im Bohrloch erfassen können. Doch der Bohrvorgang selbst ist stets ein Eingriff in das zu vermessende System (Reibung, Druck) und muß gerade bei hydratorientierten Untersuchungen als Fehlerquelle in Betracht gezogen werden.

Aus bisherigen Untersuchungen ist bekannt, daß Gashydrate fleckenhaft in verschiedenen Regionen vorliegen, wie etwa am Blake Outer Ridge (Paull et al., 1995; Dickens et al., 1997; Holbrook et al.,

1996), vor der Westküste der USA am Hydrate Ridge (Suess et al., 1997), wo Hydrat vom Meeresboden mit dem Kastengreifer gesammelt werden konnte, im Golf von Mexiko (Brooks et al., 1986), am Kontinentalhang vor Norwegen (Vogt et al., 1997), im Niger Delta (Hovland et al., 1997), im Kaspischen Meer (Ginsburg und Soloviev, 1994), im Schwarzen Meer (Ginsburg et al., 1990; Soloviev und Ginsburg, 1994) und im Mittelmeer (Kopf et al., 1996).

Gegenwärtige Abschätzungen über die Gesamtmasse des weltweit in Hydraten gebundenen Methans basieren auf dem Errechnen des Volumens der HSZ und lassen erwarten, daß der Anteil der Gashydrate am globalen Reservoir fossiler Brennstoffe signifikant wenn nicht gar dominant ist. Konkrete Zahlen (Größenordnung 10000 Gigatonnen) streuen jedoch noch sehr, und die Ergebnisse jüngerer Beprobungen im Rahmen des Ocean Drilling Program (ODP) deuten mittlerweile darauf hin, daß die Erwartungen im Mittel nach unten korrigiert werden sollten.

Doch sowohl aus klimatologischer wie auch aus explorationstechnischer Sicht steht nicht allein die Menge des Methans in den Hydraten im Vordergrund des Interesses. Weil natürliche Hydrat-Lagerstätten durch konkrete Druck- und Temperaturbedingungen begrenzt werden, die aufgrund klimatischer Veränderungen der Umwelt oder auch durch direktes menschliches Eingreifen variieren können, sind Hydrat-Vorkommen dynamisch. Es ist davon auszugehen, daß sich heute einige Hydrat-Reservoirs im Grenzbereich ihrer Stabilität befinden. Schon geringfügige Temperaturerhöhungen oder Druckminderungen - z.B. durch Bohrungen - könnten eine massive Zersetzung dieser Hydrate einleiten, die dann womöglich sehr schnell abläuft.

Zu den voraussichtlichen Folgen der Zersetzung zählt, daß der Wegfall der Sedimentverfestigung Meeresbodenrutschungen ermöglicht, die dann z.B. auch durch Erdbeben ausgelöst werden könnten. Solche Rutschungen können mehrere hundert Kubikkilometer Material in Bewegung setzen, wie dies z.B. bei der Storegga Rutschmasse der Fall war. Über die Auswirkungen von Rutschungen dieser Größenordnung - insbesondere auf den menschlichen Lebensraum - kann bisher nur spekuliert werden. Sicherlich ist mit der Auslösung von Tsunamis zu rechnen. Was Tsunamis zu bewirken vermögen, zeigt bereits das verheerende Beispiel vom 17. Juli 1998 aus Papua-Neuguinea.

Bei der Auslösung von Rutschungen durch Gashydratzerfall ist mit der Freisetzung erheblicher Mengen Methan-Gases zu rechnen, die im Extremfall in Form großer Gasblasen unmittelbar in die Atmosphäre gelangen könnten, wo sie dann als starkes Treibhausgas zur globalen Erwärmung beitragen. Konkreter noch ist die direkte Bedrohung von Explorationseinrichtungen. Solche

Gasausbrüche haben in der Vergangenheit schon zum Verlust von Explorationseinrichtungen durch explosive Entzündung an der Meeresoberfläche geführt.

Gashydrate gehören zu den wahrscheinlichsten Ursachen der aufgeführten Szenarien, die man heute unter dem Stichwort 'Geohazards' zusammenfaßt. Die augenscheinliche Relevanz der Stabilität ozeanischer Gashydrate begründet die schnellen Fortschritte in diesem noch recht jungen Forschungsfeld. Binnen dreier Jahrzehnte wurde das Potential wie die Gefahr der globalen Vorkommen qualitativ klar umrissen. Im Vordergrund zukünftiger Arbeiten wird unter anderem das Quantifizieren des Bestands und der Veränderlichkeit der Reservoirs stehen. Die Aufzeichnung vielfältiger Datensätze unter in-situ-Bedingungen im selben Meßgebiet und zur selben Zeit verspricht einen möglichen Zugang zur exakten Beschreibung der Dynamik von Hydratzonen. Für die baldige Verfügbarkeit einer solchen Datenbasis, auf deren Grundlage glaubwürdige Prognosen beruhen können, empfiehlt sich heute der Einsatz ferngelenkter Tiefsee-Roboter (Remote Operated Vehicle, ROV) oder - wie in diesem Projekt - moderner bemannter Tiefseetauchboote.

2.2 Wissenschaftliches Programm

Die 40. Forschungsfahrt der Akademik Mstislav Keldysh ist Teil des BMBF-Projektes 'Stabilität und Klimarelevanz ozeanischer Gashydrate: Untersuchung mit Tiefseetauchbooten am norwegischen Kontinentalhang' und diente einer umfassenden Datenakquisition (Abbildung 2). Der Einsatz der zwei bordeigenen Tauchboote MIR 1 und MIR 2 eröffnet Untersuchungsmöglichkeiten, wie sie von Bord eines Forschungsschiffes aus sonst nicht gegeben sind. Neben den Messungen, Probennahmen und der direkten Beobachtung ist die Bilddokumentation ein bedeutender Bestandteil der Arbeiten auf dieser Forschungsfahrt.

Die Kartierung erhöhter Methankonzentrationen in der Wassersäule und das Dokumentieren von Methanaustrittszonen zum Modellieren vermuteter Gasfahnen stellt einen der Schwerpunkte der deutschen Forschungsgruppe dieses internationalen Gemeinschaftsprojektes dar. Hiermit sollen Erkenntnisse über den Methaneintrag in die Ozeanosphäre erzielt werden. Dazu dienten neuartige, auf Halbleiterphysik basierende in-situ-Meßsensoren (entwickelt vom GKSS Forschungszentrum und der Firma ASD Sensortechnik GmbH), die an die Tauchboote montiert wurden.

Mit den in lokal abgegrenzten Gebieten gesammelten geophysikalischen, geochemischen, geologischen, ozeanographischen und biologischen Meßdaten soll sowohl über die Analyse jedes einzelnen Datensatzes für sich, als auch über Korrelationen zwischen den Datensätzen ein tieferer

Einblick in die Dynamik der natürlichen Hydrat-Vorkommen von der jüngeren erdgeschichtlichen Vergangenheit bis zur Gegenwart ermöglicht werden.

Die umfangreichen Datensätze wurden in vier unterschiedlichen Meßgebieten aufgezeichnet:

- Storegga Rutschmasse
- Håkon Mosby Schlammvulkan
- Knipovich Rücken
- Vestnesa Rücken

3 Fahrtverlauf

Die Forschungsfahrt begann am 27.06.1998 um 20:00 Uhr mit dem Transit über rd. 720 sm vom Auslaufhafen Kopenhagen zum ersten Untersuchungsgebiet an der Storegga Rutschmasse (Abbildung 2). Die dortigen Arbeiten wurden am 30.06.1998 um 08:40 Uhr aufgenommen und endeten am 07.07.1998 um 09:50 Uhr. Es standen somit sieben Arbeitstage an der Storegga Rutschmasse zur Verfügung. Nach einem Transit von rd. 300 sm wurde am 08.08.1998 die norwegische Küste vor der Hafenstadt Bodø angelaufen, um einen ersten Austausch der wissenschaftlichen Besatzung mittels eines Lotsenbootes zu ermöglichen. Der anschließende Transit von rd. 260 sm in das zweite Meßgebiet, dem Håkon Mosby Schlammvulkan, wurde in der darauffolgenden Nacht abgeschlossen. Die Untersuchungen am Håkon Mosby Schlammvulkan erstreckten sich vom 09.07.1998, 01:00 Uhr bis zum 17.07.1998, 03:00 Uhr über acht Arbeitstage. Für die Fahrt zum dritten Arbeitsgebiet am Knipovich Rücken, wo vom 18.07.1998 bis zum 21.07.1998 über vier Tage gearbeitet wurde, war ein Transit von rd. 300 sm erforderlich. Am 22.08.1998 lief das Forschungsschiff A.M. Keldysh, nach einem Transit von rd. 160 sm, in den Hafen von Longyearbyen auf Spitzbergen ein, um einen weiteren Austausch der wissenschaftlichen Besatzung vorzunehmen. Als letztes Meßgebiet wurde der rd. 180 sm von Longyearbyen entfernte Vestnesa Rücken angelaufen, wo die Untersuchungen am 23.08.1998 begannen und nach drei Arbeitstagen am späten Abend des 25.07.1998 abgeschlossen wurden. Die rd. 600 sm lange Fahrt zum Zielhafen Tromsø wurde durch einen zweitägigen Aufenthalt an dem gesunkenen russischen U-Boot Komsomolets unterbrochen. Am 29.08.1998 lief das Forschungsschiff A.M. Keldysh abends in Tromsø ein, wo die Fahrt am 30.08.1998 mit dem Ausladen der Gerätschaften und dem Aussteigen der nichtrussischen, wissenschaftlichen Besatzung endete.

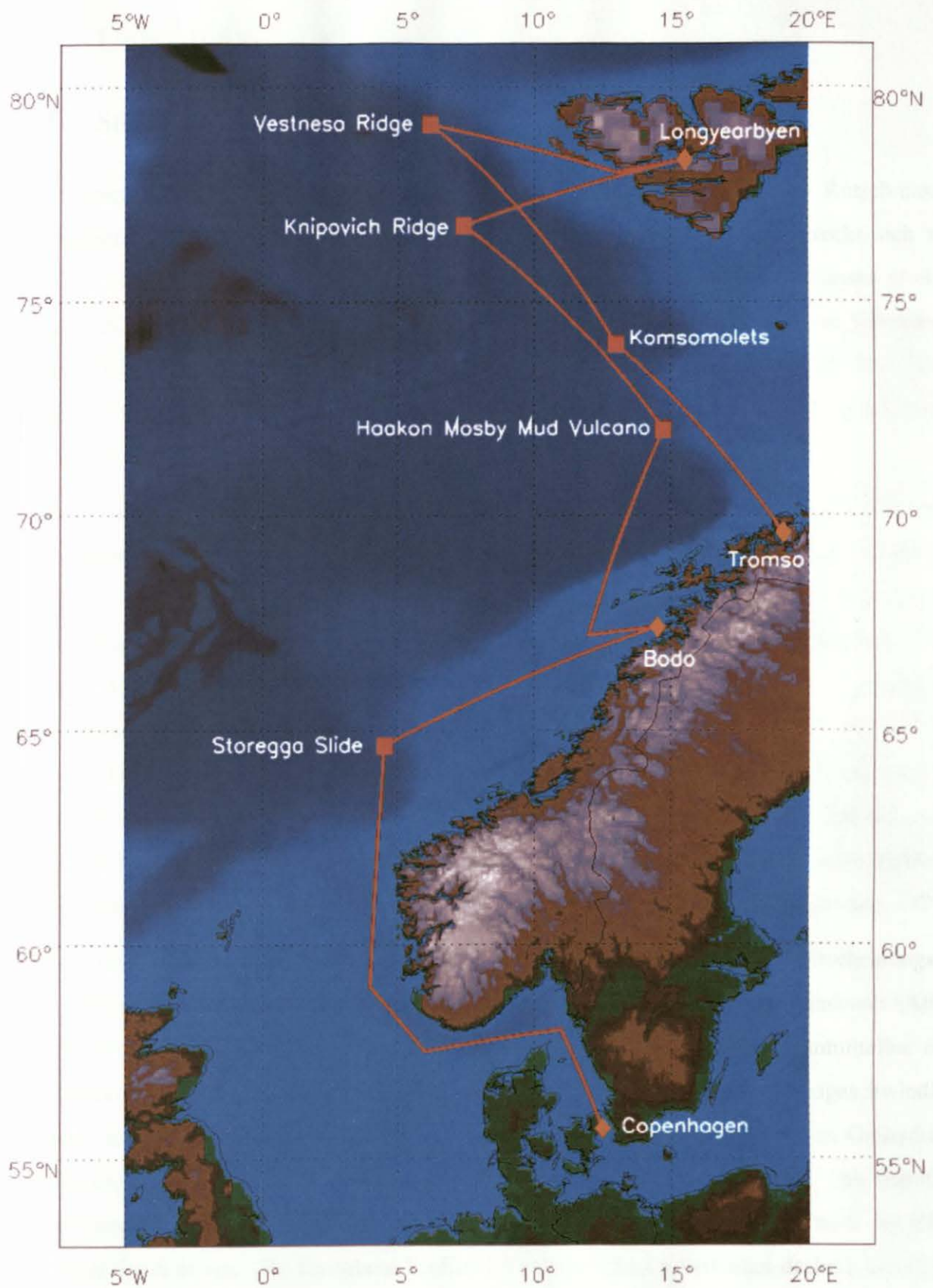


Abbildung 2: Karte des nordwestlichen Europas mit den Untersuchungsgebieten, den Anlaufhäfen und der Fahrtroute

Die vier Untersuchungsgebiete werden nachfolgend im einzelnen beschrieben.

4 Untersuchungsgebiete

4.1 Storegga Rutschmasse

Die Storegga Rutschmasse ist eine der größten weltweit bekannten Rutschmassen an Kontinentalhängen. Sie befindet sich am südlichen Vøring Plateau und erstreckt sich über rd. 800 km Länge vom oberen Kontinentalhang bis in das Norwegische Becken (Jansen et al., 1987; Bugge et al., 1987). Die einzelnen Rutschungsereignisse werden mit einer fortschreitenden Destabilisierung von Gashydraten in Verbindung gebracht (Mienert et al., 1998). Der Zerfall der Hydrate verändert die mechanischen Eigenschaften der Sedimente, vorwiegend zwischen 400 und 1500 m (Dickens et al., 1995). Dadurch erhöht sich die Gefahr von Rutschungen.

Dieses Arbeitsgebiet umfaßt drei Stationen (Abbildung 3), von denen sich zwei am nördlichen Escarpment der Rutschmasse (Stationen 1 & 2) befinden und die Station 3 außerhalb des Hangbereiches liegt. Die Auswahl der Stationen erfolgte auf Grundlage der Auswertung der durchgeführten Voruntersuchungen, die im Rahmen des von der Europäischen Union geförderten European North Atlantic Margin Projektes (ENAM II) (Mienert et al., 24 month report ENAM project) und des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Sonderforschungsbereiches 313 durchgeführt wurden. Diese Forschungsarbeiten beinhalteten u.a. die Entwicklung und den Einsatz von Hochfrequenz-Ozeanbodenhydrophonen (HF-OBH), mit denen der Nachweis anomaler Geschwindigkeiten in den Sedimenten der HSZ und damit der Existenz gashydratzementierter Sedimentschichten sowie freien Gases in den Porenräumen der Sedimente möglich wurde (Mienert und Posewang, 1997).

Bei der ersten Station richtet sich die Aufmerksamkeit auf eine Struktur, deren Erscheinungsform in einer Seitensicht-Sonar-Aufnahme auf einen oder mehrere Schlammvulkane hindeutet (Abbildung 4). Im Gebiet der zweiten Station wurde in reflexionsseismischen Messungen unmittelbar oberhalb des Escarpments ein BSR vorgefunden; Analysen der Kompressionswellengeschwindigkeiten mittels OBH-Registrierungen deuten hier ebenfalls nachhaltig auf die Präsenz von Gashydraten hin (Posewang und Mienert, im Druck). Am Escarpment wurden die gashydrathaltigen Sedimentschichten vermutlich durch die Rutschungen submarin freigelegt und auch der BSR läuft an dieser Struktur aus. Die Tauchboot-Profile der zweiten Station verlaufen deshalb unmittelbar an der Abbruchkante (Abbildung 5), da hier ein Austreten von Gasen vermutet werden konnte oder sogar Gashydrate direkt am Escarpment vorzufinden sein könnten. An der dritten Station galt das Interesse der Untersuchung eines vermuteten Pockmarkfeldes. Die Entscheidungsgrundlage für die Auswahl dieser Lokation bildet auch hier die Analyse der Seitensicht-Sonar-Untersuchung

(Abbildung 6), in denen zahlreiche kreisrunde Strukturen hoher Rückstreuung mit einem Durchmesser von jeweils ca. 300 m klar zu erkennen sind.

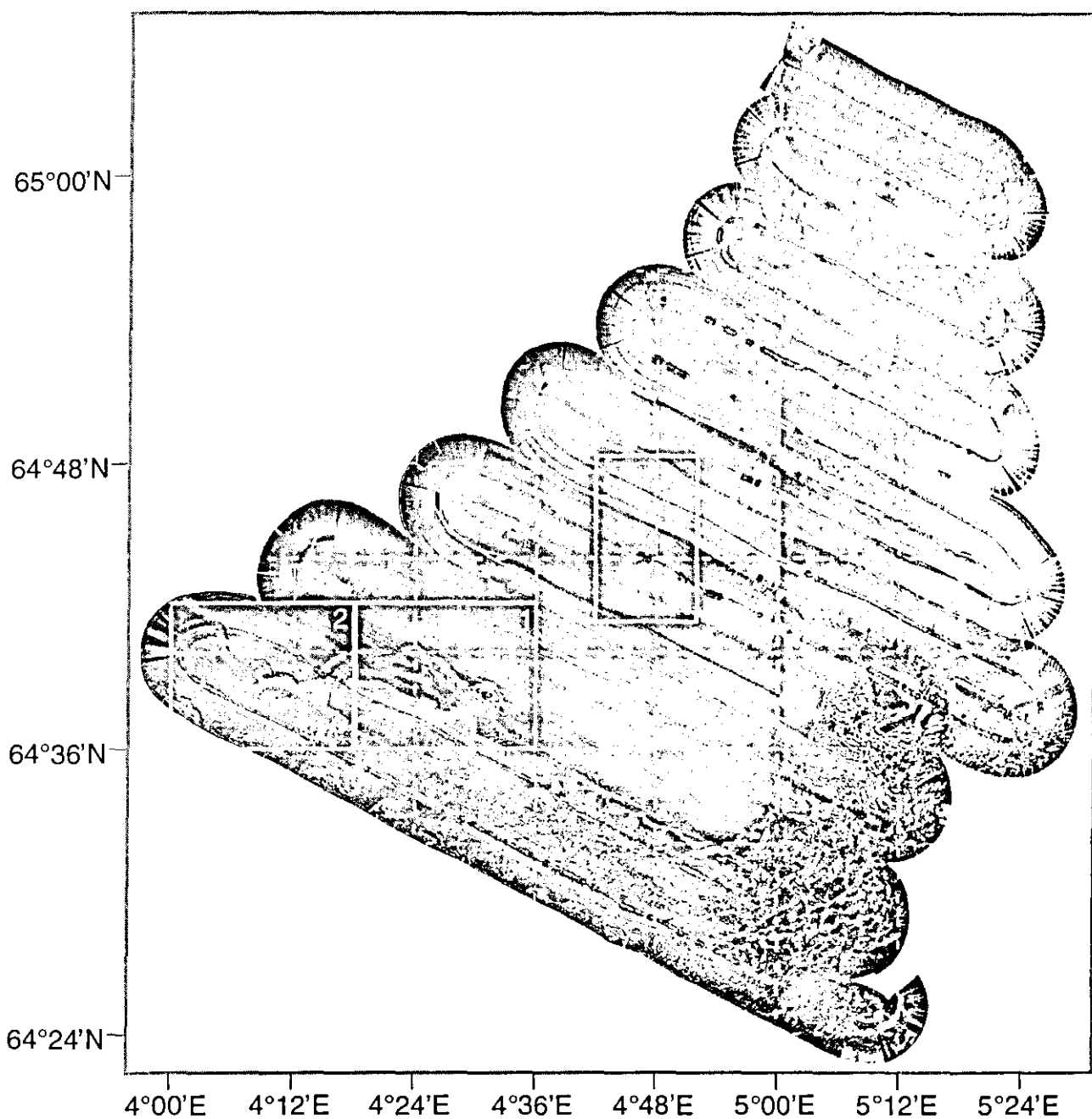


Abbildung 3: TOBI Seitensicht-Sonar-Aufnahme des Untersuchungsgebietes Storegga Rutschmasse, die Rahmen markieren die drei Arbeitsstationen (1) Schlammvulkan, (2) Rutschungs-Escarpment und (3) Pockmarks (zur Verfügung gestellt von J. Mienert, Koordinator des ENAM Projekts)

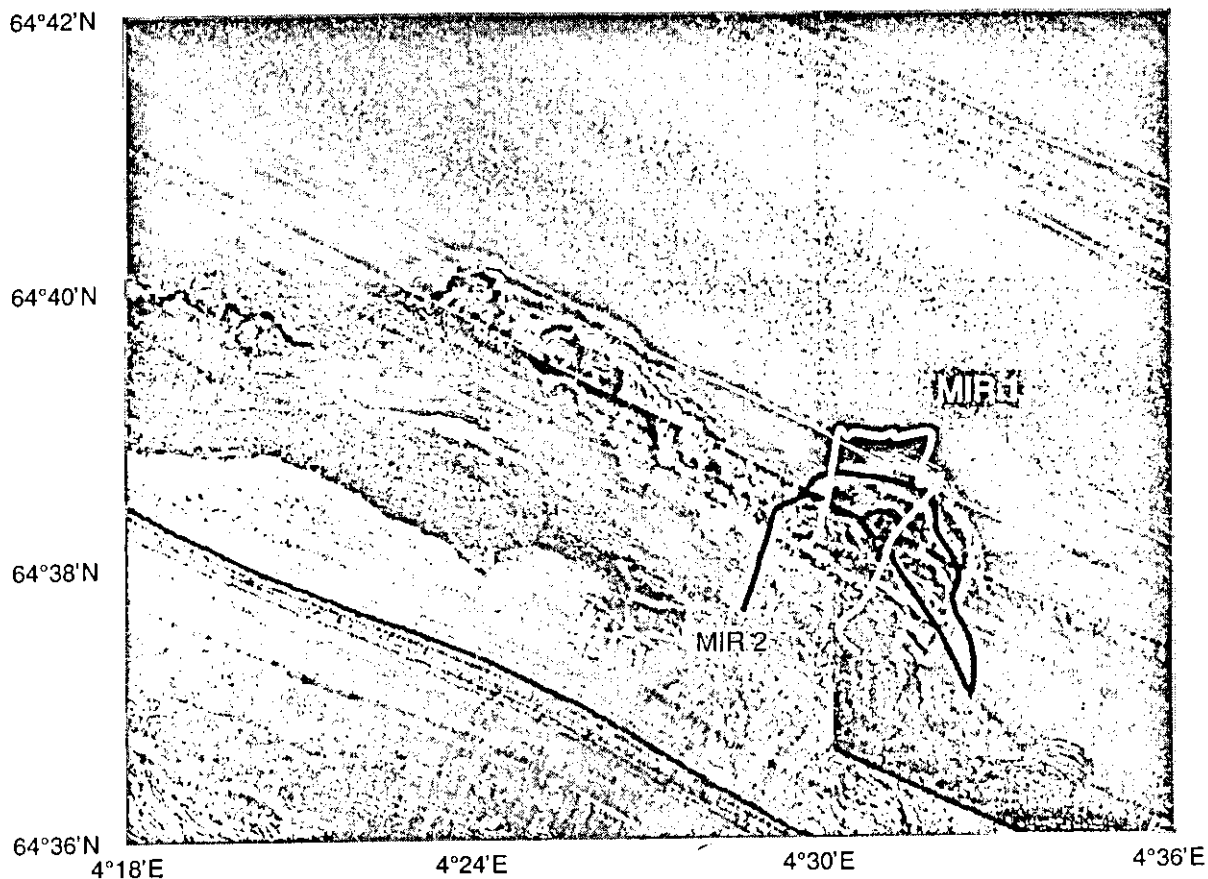


Abbildung 4: TOBI Seitensicht-Sonar-Aufnahme, Detail der Station 1 mit Tauchfahrt-Routen

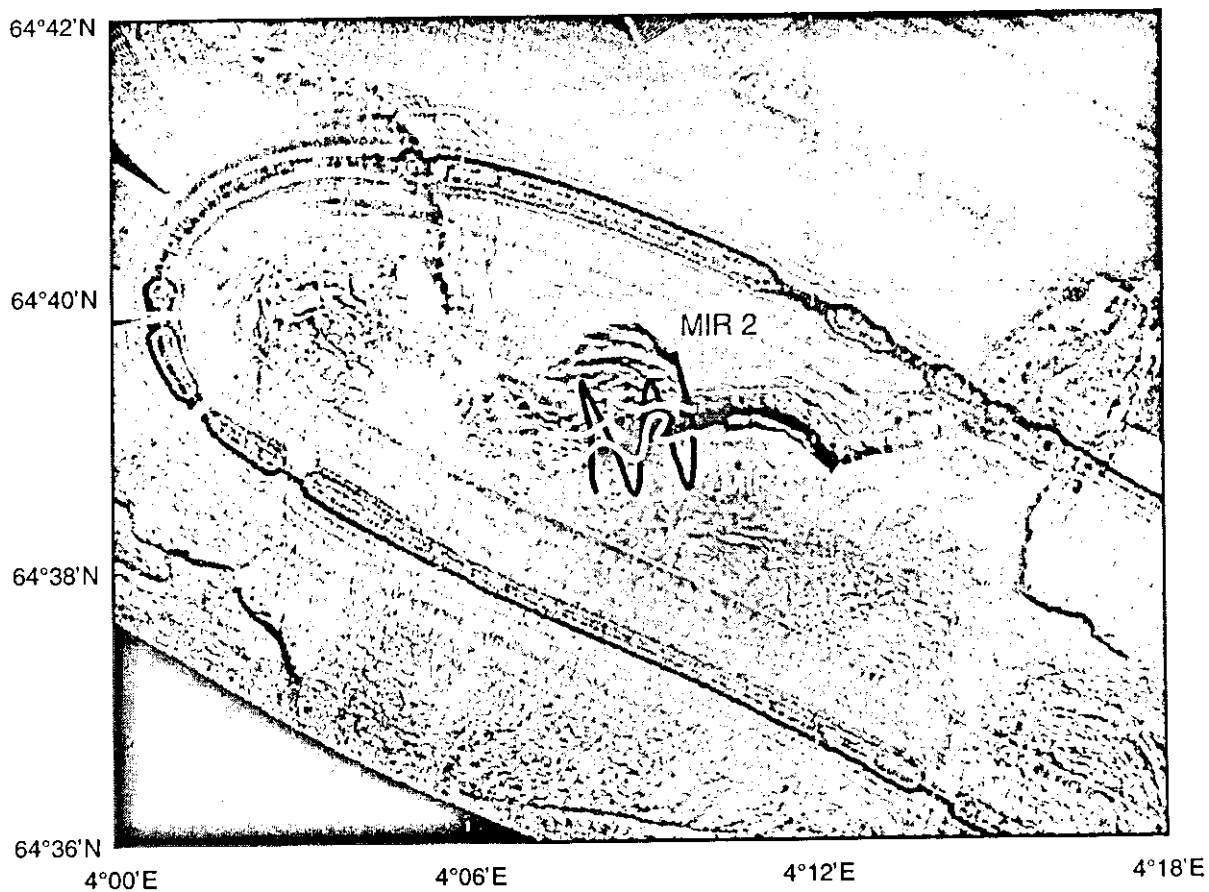


Abbildung 5: TOBI Seitensicht-Sonar-Aufnahme, Detail der Station 2 mit Tauchfahrt-Routen

64°48'N

64°46'N

64°44'N

64°42'N

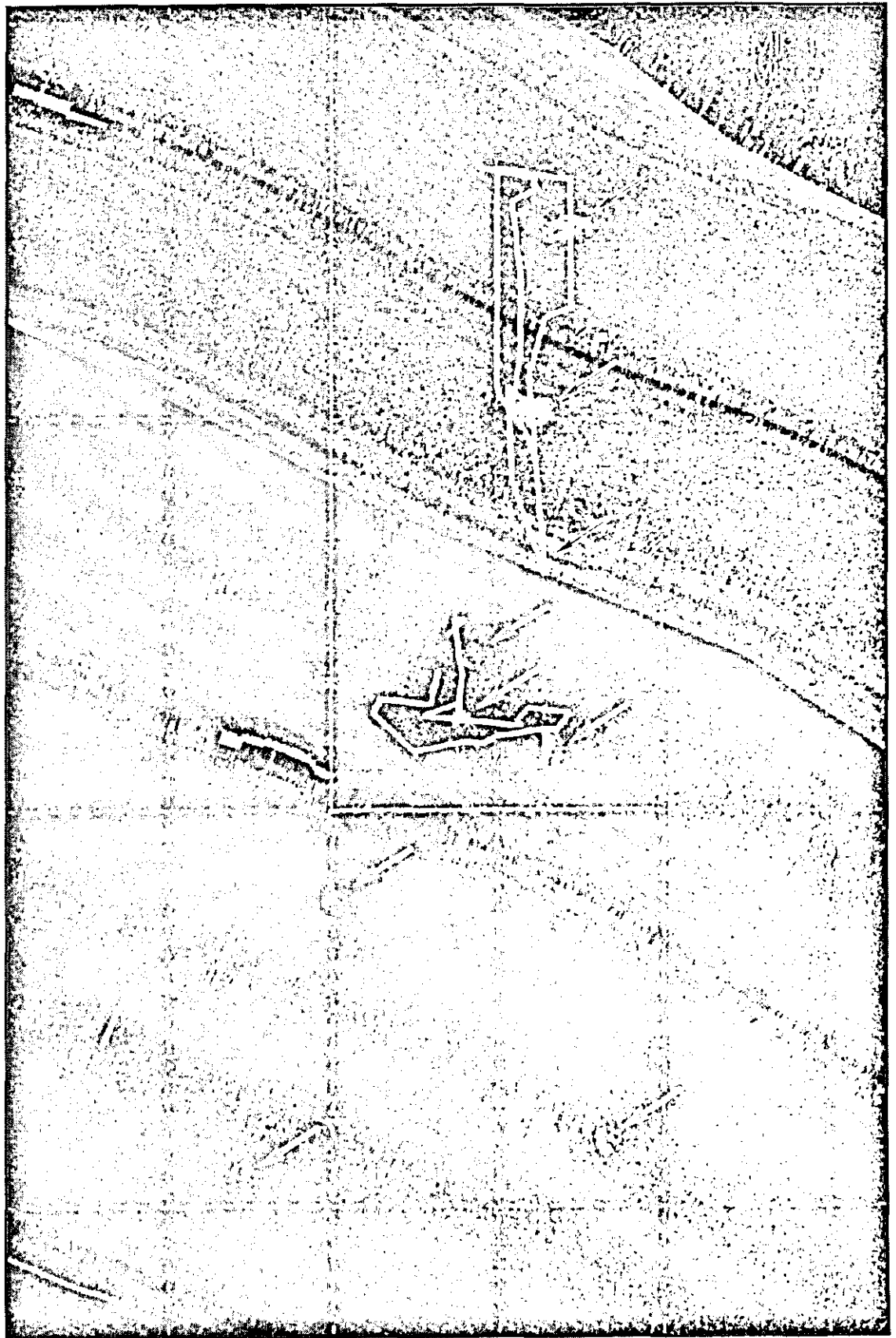


Abbildung 6: TOBI Seitensicht-Sonar-Aufnahme, Detail der Station 3 mit Tauchfahrt-Routen, die Pfeile markieren ausgewählte Pockmarks

4.2 Håkon Mosby Schlammvulkan (HMMV)

Der erst 1989 bei Seitensicht-Sonar-Untersuchungen entdeckte 'Håkon Mosby Mud Volcano' (Abbildung 7) liegt im Bäreninsel-Sedimentfächer in 1250 m Tiefe (Laberg and Vorren, 1993; Vogt et al., 1997). Die gesamte, fast kreisrunde Struktur hat einen Durchmesser von rd. 2 km, der zentrale Krater mißt rd. 500 m im Durchmesser. Das ungewöhnliche an dieser aktiven Austrittsstelle von Fluiden und Gasen ist, neben seiner Lage in arktischen Breiten, daß der HMMV an einem passiven Kontinentalhang liegt. Derartige Austrittszonen waren bisher nur von aktiven Kontinentalrändern bekannt. Anomal hohe Temperaturgradienten und Methankonzentrationen im Bereich des HMMV wurden im Rahmen dieser Forschungsfahrt innerhalb und außerhalb des Vulkankraters detailliert untersucht. Grundsätzlich wurde im Zentrum des Kraters der größte Wärme fluß im Sediment erwartet. Ob dort auch die aktivsten Methanaustrittsstellen vorzufinden sind, stellte eine der zu klärenden Fragen dar. Durch über den gesamten Kraterbereich verteilte Messungen der Methankonzentrationen wurden Daten gewonnen, mit deren Hilfe versucht werden soll, Methanfahnen in der Wassersäule darzustellen.

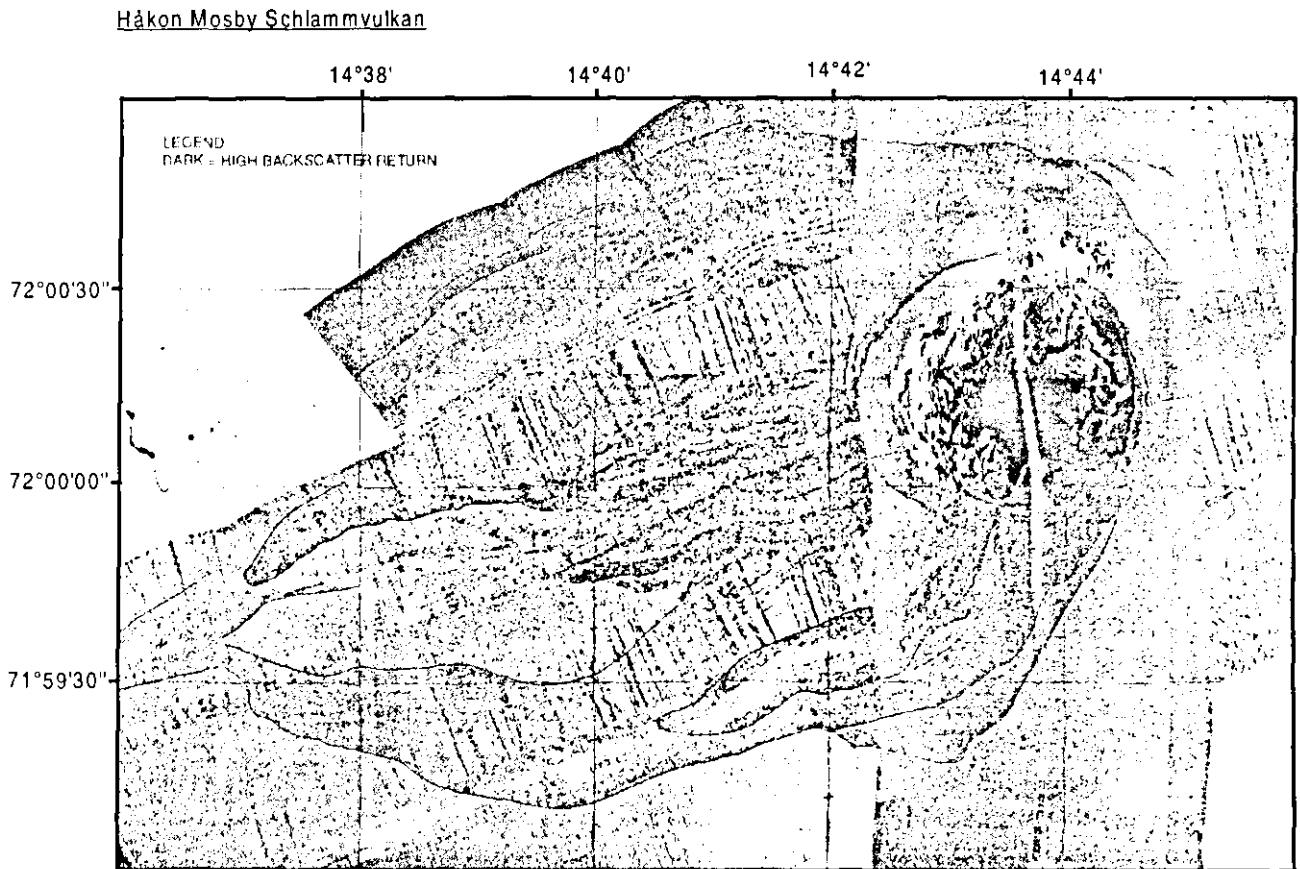


Abbildung 7: Seitensicht-Sonar-Aufnahme vom Håkon Mosby Schlammvulkan (zur Verfügung gestellt von P. Vogt)

4.3 Knipovich Rücken

Der Knipovich Rücken bildet die nördlichste Sektion des Mittelatlantischen Rückens in der Norwegisch-Grönländischen See. Das Ziel der Untersuchungen an diesem Rücken ist das Auffinden von hydrothermalen Aktivitäten entlang der von Störungszonen gekennzeichneten Rückenachse einer erdgeschichtlich jungen Struktur, sowie das Studium ihrer geologischen Eigenschaften. Dieses Gebiet wurde als Interessenschwerpunkt der ausländischen Projektpartner in das Programm dieser gemeinsam durchgeführten Forschungsfahrt aufgenommen.

Auf eine detaillierte Betrachtung dieses Teils der Forschungsfahrt, welcher außerhalb der eigentlichen Projektziele steht, wird deshalb in diesem Bericht nicht eingegangen.

4.4 Vestnesa Rücken

Das vierte und letzte Untersuchungsgebiet liegt am Vestnesa Rücken, der nördlich des Knipovich Rückens parallel zur 'Molloy fracture zone' in der Fram Straße verläuft. Der Vestnesa Rücken und seine Umgebung wurden auf der Grundlage von Voruntersuchungen der amerikanischen und der deutschen Gruppe als Zielgebiet der Tauchbootuntersuchungen ausgewählt.

Die amerikanische Gruppe um Dr. Peter Vogt fand bei seismischen Vermessungen mit Seitensicht-Sonar (SeaMARC II) und 3,5 kHz-System in den Jahren 1989, 1990 und 1995 einen 1-3 km breiten und ca. 50 km langen Gürtel mit kleinen Strukturen hoher Rückstreuung entlang des Rückenkamms vor. Die Strukturen wurden als Pockmarks und z.T. auch als Schlammdiapire interpretiert. Diskontinuitäten in den Reflektoren der obersten Sedimentlagen deuten zusätzlich auf thermale Aktivitäten in diesem Gebiet hin. Es wird vermutet, daß die 1-2 km mächtige Sedimentauflage ein bis zu 300 m mächtiges hydrathaltiges Sediment aufweist (Vogt et al., 1994).

Die deutsche Gruppe konnte mit mehrkanaligen, seismischen Untersuchungen in einem Gebiet südöstlich des Rückenkamms, in welchem bereits Eiken und Hinz (1993) sowie Andreassen und Hansen (1995) BSRs entdeckt hatten, mehrere Anzeichen für das Vorliegen von Gashydraten finden (Mienert et al., 1994, Posewang und Mienert, im Druck). Die Registrierungen geben den BSR detaillierter wieder und auch vertikale Störungen in den oberen Sedimentlagen konnten erkannt sowie Schichten ungewöhnlich hoher (Zementierung durch Gashydrate) und niedriger (freies Gas) Kompressionswellengeschwindigkeit aufgelöst werden (Posewang, 1997).

Aufgrund des begrenzten Zeitrahmens mußte an Bord eine Entscheidung zwischen den beiden unmittelbar benachbarten Arbeitsgebieten getroffen werden. Es wurde beschlossen, primär die Kammregion ('Pockmarks') anzulaufen und die etwas weiter südlich gelegene Region ('BSR') als Ausweichstation für den Fall des Auftretens von Eis im Kammgebiet vorzusehen. Grundlage dieser Entscheidung bildete die größere Anzahl an Voruntersuchungen im Kammgebiet.

5 Eingesetzte Geräte

5.1 Die Tauchboote MIR 1 und MIR 2

Die Tauchboote und deren Einsätze standen im Mittelpunkt dieser Forschungsfahrt (Abbildung 8). Sowohl die Möglichkeit zur direkten Beobachtung oftmals sehr kleinräumig verteilter Strukturen durch Wissenschaftler vor Ort, als auch die exakte Positionierung der Probennahme oder der in-situ-Messungen an interessant erscheinenden Stellen, machen die beiden Tauchboote zu ausgezeichneten Forschungswerkzeugen.



Abbildung 8: Tauchboot MIR 1 beim Ausbringen



Abbildung 9: Kernrohre

Eine Tauchmannschaft bestand zumeist aus einem Piloten, einem Bordingenieur und einem Wissenschaftler; anstelle des Bordingenieurs konnte in manchen Fällen ein weiterer Wissenschaftler dessen Platz einnehmen. Der Pilot ist neben der Steuerung des Tauchbootes auch für die Bedienung der Untersuchungsgeräte zuständig. Mit Hilfe der Greifarme können die verschiedenen Probennehmer und Meßgeräte eingesetzt werden. Als Bodenprobennehmer dienen kleine Kernrohre (push cores, Abbildung 9), eine Schaufel und bei Gesteinsproben der Greifarm selbst. Kleine Netze und auch eine Saugvorrichtung bei MIR 2 (Abbildung 10) werden für biologische Proben

verwendet. Für die Bilddokumentation ist an beiden Tauchbooten eine schwenkbare Vorrichtung mit Video- und Fotokamera ausgestattet. Als weitere Ausstattungen der beiden MIRs sind ein CTD-Meßgerät zur Bestimmung der Salinität, der Temperatur und der Tiefe, Behälter für Wasserproben und je zwei Methansensoren (siehe Abschnitt 6.2) vorhanden. Die MIR 2 führte zusätzlich eine Wärmeflußmeßeinrichtung (thermische Lanze, Abbildung 11) mit sich.



Abbildung 10: Vorderansicht des Tauchbootes MIR 2



Abbildung 11: Thermische Lanze

5.2 Die Methansensoren – 'METS'

Zur Bestimmung der Methankonzentration wurden neuartige, auf Halbleiterphysik basierende Methansensoren (Abbildung 12) eingesetzt, die für in-situ-Messungen geeignet sind. Die Auslegung für einen äußeren Druck von max. 150 bar erlaubt den Einsatz bis zu einer Wassertiefe von 1500 m.



Abbildung 12: Methansensor, nach dem Einsatz

Dies war für die Untersuchungsgebiete Storegga Rutschmasse, Håkon Mosby Schlammvulkan und Vestnesa Rücken ausreichend. Es handelte sich hierbei um den ersten praktischen Einsatz dieser Sensoren in der Tiefsee. Im folgenden wird die Funktionsweise der 'METS' und deren Installation an den Tauchbooten erläutert.

Der eigentliche Sensor der METS mißt die Methankonzentration nicht direkt in der Wasserphase, sondern in einem Gasraum der mittels einer gasdurchlässigen Membran von der Wasserphase getrennt ist. Als Sensor wird ein Halbleiter verwendet, dessen Leitfähigkeit sich je nach Methankonzentration in diesem Gasraum ändert. Über das Konzentrationsgleichgewicht zwischen Gas- und Flüssigkeitsphase, welches mit dem Henry-Gesetz beschrieben wird, läßt sich die Konzentration in der Wasserphase bestimmen. Aufgrund des Einflusses der Temperatur und der Feuchtigkeit auf die Leitfähigkeit des Halbleiters befinden sich ein Temperatur- und Feuchtigkeitsfühler im Gasraum des Sensorkopfes.

Als Meßsignal geben die METS jeweils Spannungssignale des Temperatur-, Feuchtigkeits- und Methansensors im Bereich von 0-5 V aus. Zur Ermittlung der Konzentrationswerte ist eine Kalibrierung zur Berücksichtigung der Einflußgrößen Temperatur, Feuchtigkeit und, wie sich erst jetzt herausstellte, eventuell auch des Druckes notwendig. Die Kalibrierung der Sensoren war aufgrund der kurzen Zeit zwischen Herstellung und Beginn der Forschungsfahrt nicht ausreichend möglich, so daß die Meßsignale noch nicht in Konzentrationswerte umgerechnet werden konnten. Seit Ende der Forschungsreise werden die für jeden Sensor einmalig erforderlichen, detaillierten und sehr zeitaufwendigen Kalibrierungen am GKSS-Forschungszentrum durchgeführt.

Für den Einsatz während der Tauchfahrten standen sechs Sensoren zur Verfügung. Es wurden je zwei METS an jedes MIR-Tauchboot montiert (Abbildung 13). Die Vorderseite der Sensoren zeigte in die Fahrtrichtung der Tauchboote, um ein gutes Anströmen der Membran zu gewährleisten. Die

Einbaustelle an der jeweiligen Vorderfront der MIRs ist in Abbildung 13 dargestellt. Die Aufzeichnung der Meßsignale erfolgte durch Datenrecorder des Typs CR10X von Campbell Scientific Inc., von denen je einer in jedem Tauchboot installiert wurde. Die Energieversorgung der Meßgeräte erfolgte über die Akkumulatoren der MIRs. Nach jeder Tauchfahrt wurden die aufgezeichneten Daten ausgelesen, so daß eine sofortige erste Sichtung und Funktionskontrolle an Bord möglich war. Die ersten Auswertungen geben nur eine Information über den relativen Konzentrationsverlauf entlang der Tauchwege der MIRs. Erst mit der Untersuchung des Sensorverhaltens bezüglich Temperatur-, Feuchte- und Druckabhängigkeit sowie des Ansprechverhaltens wird eine genaue Analyse der Sensordaten möglich sein.

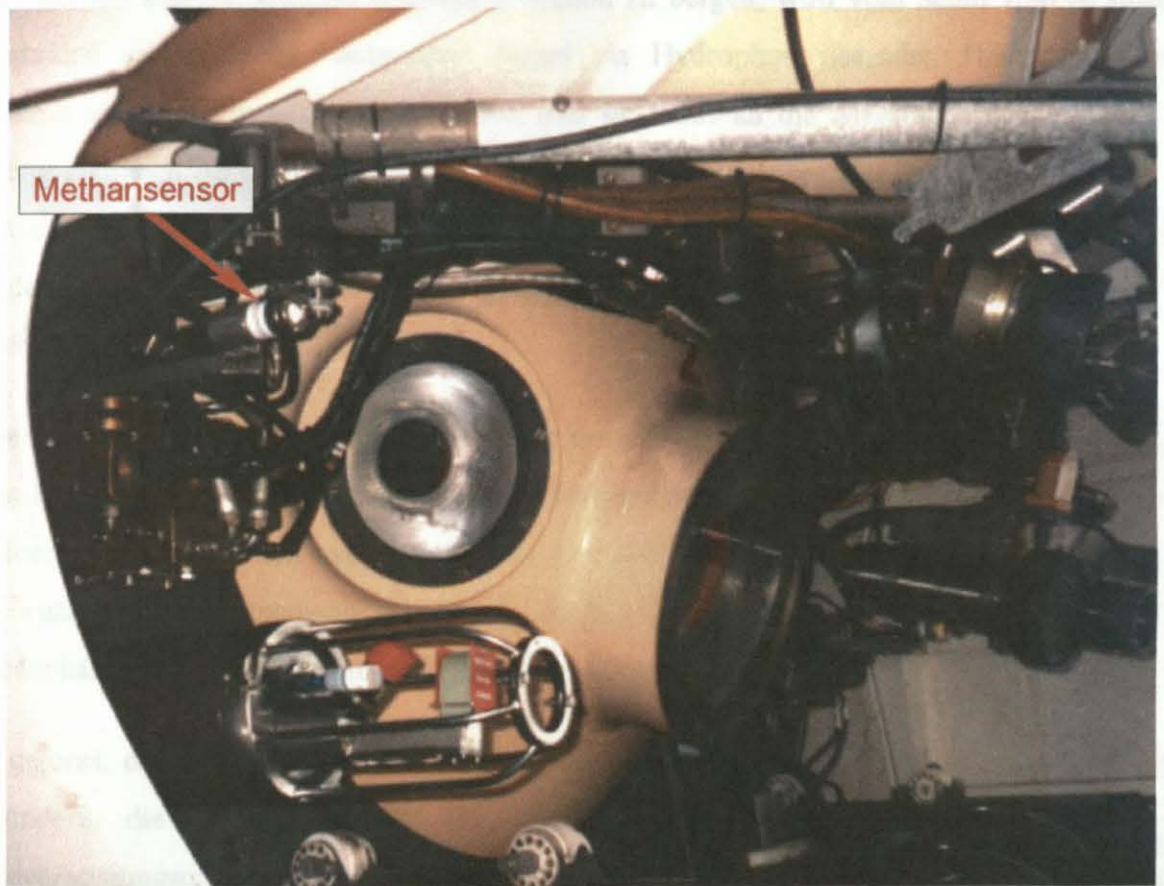


Abbildung 13: Methansensor, Einbauort an der Vorderfront des Tauchbootes MIR 2

5.3 Die verankerten Meßstationen

Die verankerten Meßstationen (Abbildung 14) wurden zur Registrierung von Strömungsgeschwindigkeiten und CTD-Daten (Leitfähigkeit, Temperatur, Druck) eingesetzt. Die Zylinder des Strömungsmessers mit CTD (2) und der Auslöseeinheit (4) wurde in einen Rahmen (6) aus Schlitzschienen mit Rohrschellen eingebaut. Die Vorteile dieser Konstruktion sind neben der zwingend erforderlichen Stabilität für den Einsatz in der Tiefsee vor allem der variable Aufbau und die beliebige Erweiterbarkeit, sowie die Möglichkeit der Montage vor Ort, wodurch das System leicht transportabel ist. Der modulare Aufbau bewirkt, daß alle Komponenten ohne Hilfsgerät an Bord bewegt werden können. Um die ausgesetzte Station zu bergen, wird vom Schiff zum Auslöser am Meeresboden ein codiertes, akustisches Signal via Hydrophon gesendet. Hierdurch wird die Meßstation von den Grundgewichten gelöst, und sie kehrt an die Meeresoberfläche zurück. Die Tarierung zwischen Auftrieb (1) und Absinken (7) wird derart eingestellt, daß sowohl beim Ab- wie auch Auftauchen keine signifikante Abdrift des Systems durch Strömungen eintritt. Als Ortungshilfen nach dem Auftauchen sind ein Funksignalsender, eine Blitzlampe und eine Fahne auf den Auftriebskörpern montiert.

Das Gerät wurde an insgesamt fünf Stationen der Forschungskampagne erfolgreich eingesetzt. In den meisten Fällen wurden die Meßstationen mit einem zweiten CTD-Meßgerät ausgestattet, welches rd. 55 m über dem Meeresboden angeordnet wurde. Die jeweilige Aufzeichnungsdauer orientierte sich an den Vorgaben der Fahrtplanung und betrug 12 Stunden bis 4 ½ Tage. Hierdurch konnten u.a. gezeitenabhängige Schwankungen in den Meßwerten registriert werden.

Es ist geplant, das Gerät für zukünftige Forschungseinsätze um weitere Meßeinheiten zu ergänzen. Insbesondere die Implementierung der Methan-Sensoren samt Aufzeichnungseinheit und Energieversorgungsmodul - jeweils in tiefseetauglichen Druckbehältern - steht hier im Vordergrund. Das Gerät kann dann nicht nur als verankerte Meeresbodenstation, sondern auch zur Aufnahme von Vertikalprofilen in der Wassersäule zum Einsatz kommen.

Verankerte Meßstation



Legende:

- 1 Auftriebskörper mit Blitzleuchte, Funksignal und Fahne
- 2 Strömungsmesser mit CTD
- 3 Strömungsmesser mit CTD oder CTD-Sonde
- 4 Auslöseinheit
- 5 Hydrophon
- 6 Montage- und Schutzrahmen
- 7 Grundgewicht
- 8 Bergungsleine mit Schwimmkörper
- 9 Meteorleine
- 10 Fischfalle (optional)

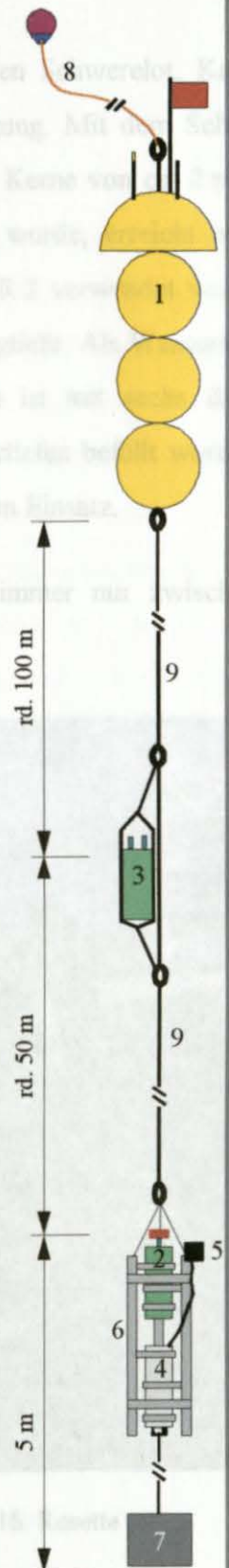
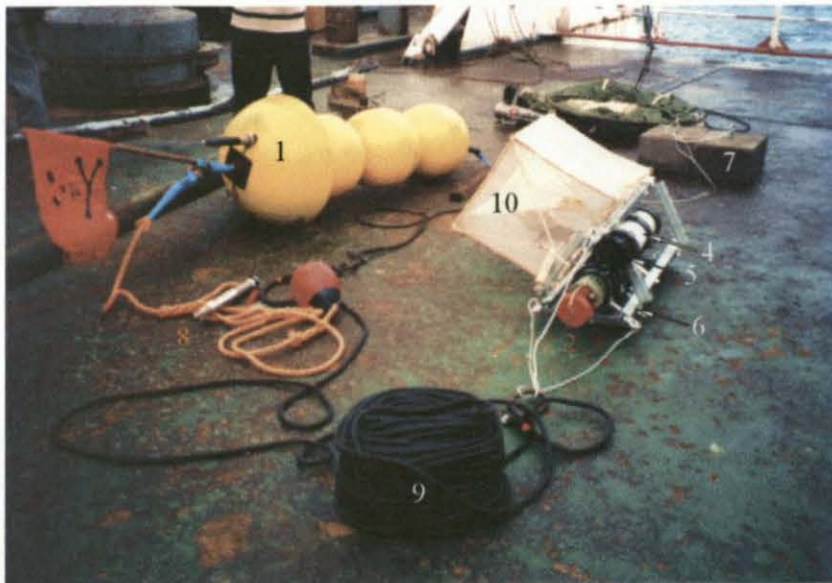


Abbildung 14: Systemaufbau der verankerten Meßstation mit Fotos vom Einsatz

5.4 Die weiteren Arbeitsgeräte

An Arbeitsgeräten, die von Bord der Keldysh eingesetzt wurden, standen Schwerelot, Kastenlot, Wärme flu ß sonde (Abbildung 15), Wassers ch ö p f e r und Netze zur Verfügung. Mit dem Schwerelot können Sedimentkerne von bis zu ca. 4 m Länge und mit dem Kastenlot Kerne von ca. 2 m Länge gewonnen werden. Die Wärme flu ß sonde, die von Bord aus eingesetzt wurde, erreicht erhebliche größere Eindringtiefen (bis 5 m) als diejenige, die mittels Tauchboot MIR 2 verwendet wurde (bis 1 m). Sie mißt daher den Temperaturgradienten über eine größere Eindringtiefe. Als Wassers ch ö p f e r dienten 150 l-Flaschen und eine Rosette (Abbildung 16). Die Rosette ist mit sechs Behältern ausgestattet, die über eine Steuerungsvorrichtung in ausgewählten Wassertiefen befüllt wurden. Für biologische Untersuchungen kam ein Grundnetz sowie ein Planktonnetz zum Einsatz.

Die Arbeiten von Bord der Keldysh wurden aus Sicherheitsgründen immer nur zwischen den Tauchgängen durchgeführt.



Abbildung 15: Große Wärme flu ß sonde



Abbildung 16: Rosette

6 Arbeitsprogramm



















6.1 Storegga Rutschmasse

6.1.1 Station 1: Schlammvulkan

Das Ziel der Erkundungen bildete eine Struktur, die in Seitensicht-Sonar-Aufnahmen als Schlammvulkan interpretiert werden konnte. Sie weist einen Durchmesser von etwa 2,5 km auf.

Zu Beginn wurden mehrere Echolotprofile aufgenommen, um eine genaue Bathymetrie zu erstellen (Abbildung 17). Die Arbeiten von Bord aus umfaßten den Testeinsatz eines Methansensors bis 50 m Wassertiefe, die Aufnahme von Wasserproben aus verschiedenen Tiefen und die Beprobung des Oberflächensediments mittels Schwerelot und Kastenlot. Des weiteren wurde die große Wärmeflußsonde an drei Positionen eingesetzt. Nach diesen Voruntersuchungen wurde am 02.07.98 die erste Doppeltauchfahrt (MIR 1 und 2) der Expedition durchgeführt (Abbildung 17). Es kamen die bereits beschriebenen Geräte der Tauchboote zum Einsatz. An einer Lokation wurde der Wärmefluß mit der am Tauchboot MIR 2 befestigten Sonde gemessen.

LEGENDE zu den nachfolgenden bathymetrischen Karten

	Keldysh	MIR 1	MIR 2
Sedimentproben (Kerne)			
Wasserproben			
Wärmeflußmessung			
Gesteinsproben			
Biologische Proben			
Verankerte Meßstation (mooring)		FS Logachev 1996  	

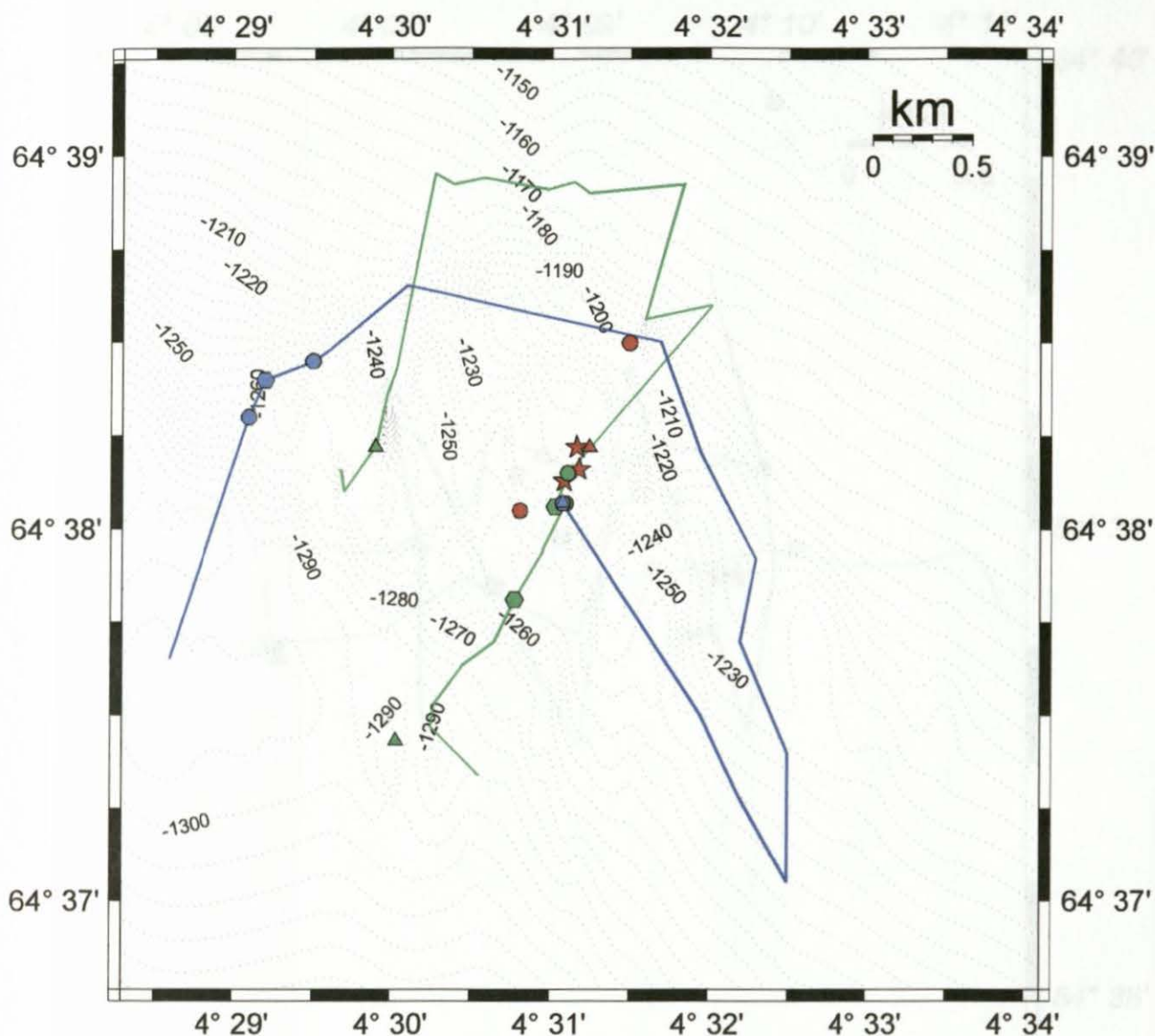


Abbildung 17: Bathymetrische Karte der Station 1 mit Tauchrouten und Lokationen des Geräteeinsatzes

6.1.2 Station 2: Rutschungs-Escarpment

An dieser Station wurde ebenfalls zu Beginn eine Echolotregistrierung zur Erkundung der genauen Morphologie durchgeführt (Abbildung 18). Darauf folgte die Beprobung der Sedimente und das Aussetzen einer Verankerung, die erst nach Beendigung der Arbeiten im Storegga-Gebiet wieder geborgen wurde. Wärmeflußmessungen wurden an zwei Lokationen vorgenommen. Während der Doppeltauchfahrt an dieser Station kamen ebenfalls alle o.g. Geräte der MIRs zum Einsatz.

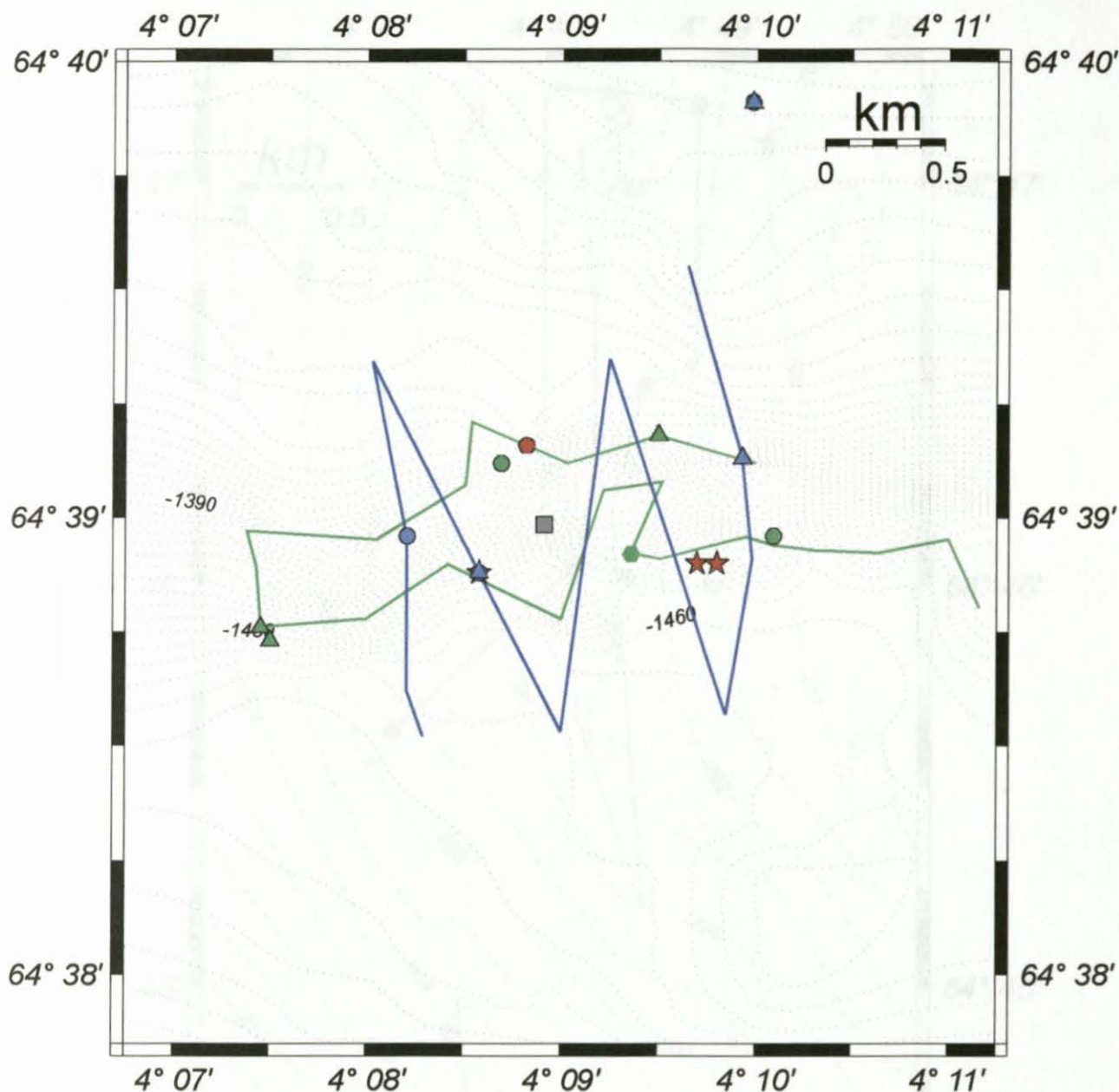


Abbildung 18: Bathymetrische Karte der Station 2 mit Tauchrouten und Lokationen des Geräteeinsatzes

6.1.3 Station 3: Pockmarks

Neben der Erstellung einer genaueren Bathymetrie mittels Echolotprofilierung wurden Beprobungen der Wassersäule und des Sedimentbodens mit den bereits beschriebenen Geräten durchgeführt (Abbildung 19). Es erfolgte eine Wärmeflußmessung und das Ausbringen einer zweiten verankerten Meßstation, welche erst nach Abschluß der hier durchgeführten Doppeltauchfahrt – diese wiederum unter Einsatz aller Geräte - wieder geborgen wurde.

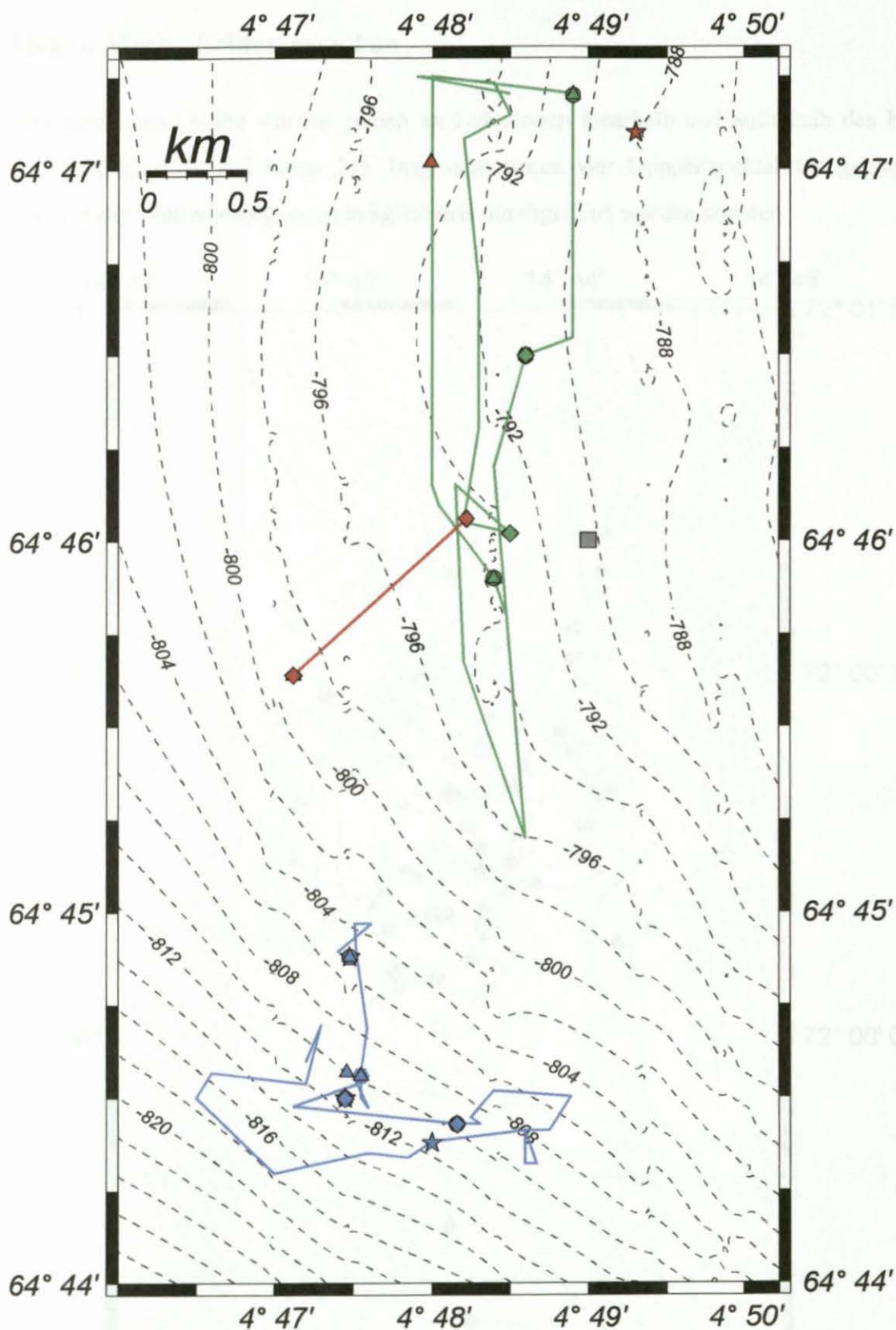


Abbildung 19: Bathymetrische Karte der Station 3 mit Tauchrouten und Lokationen des Geräteeinsatzes

Alle Arbeiten an den Stationen im Storegga Gebiet konnten nach Plan ausgeführt werden.

6.2 Håkon Mosby Schlammvulkan

Alle bereits genannten Geräte wurden gezielt an Lokationen innerhalb und außerhalb des HMMV eingesetzt (Abbildung 20, Abbildung 21). Insgesamt waren vier Doppeltauchfahrten geplant, von denen aufgrund der Wetterbedingungen lediglich drei durchgeführt werden konnten.

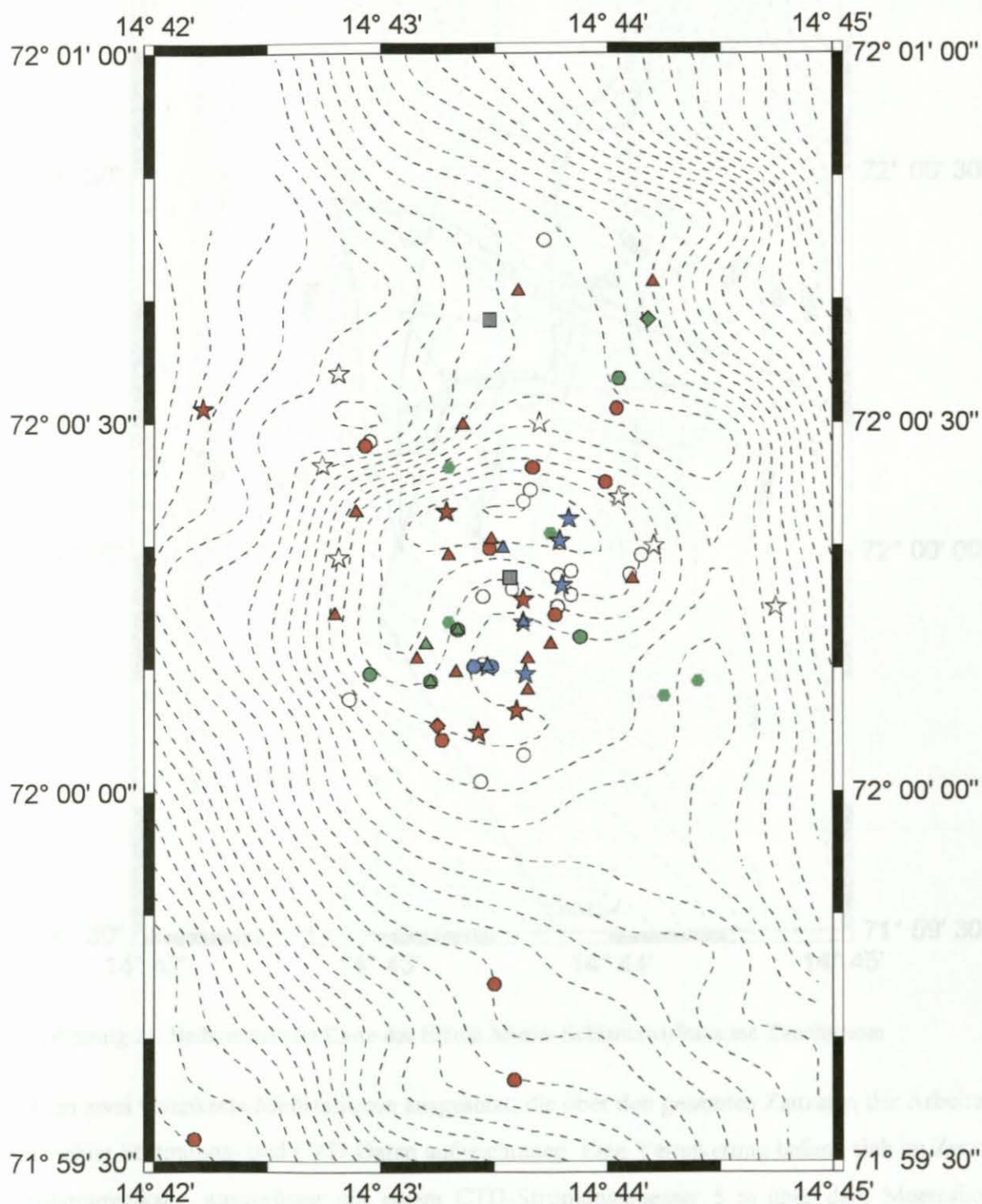


Abbildung 20: Bathymetrische Karte des Håkon Mosby Schlammvulkans mit Lokationen des Geräteeinsatzes

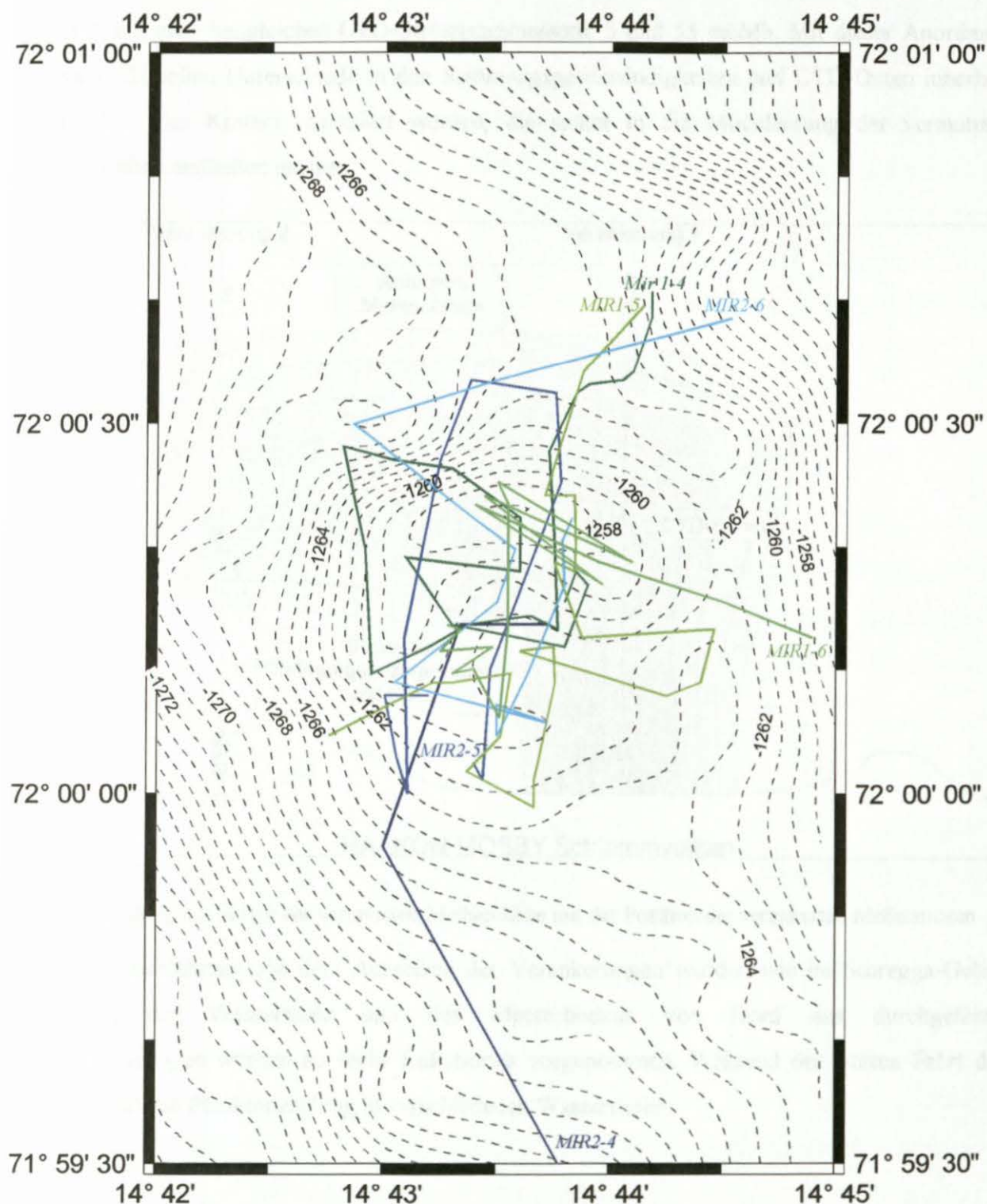


Abbildung 21: Bathymetrische Karte des Håkon Mosby Schlammvulkans mit Tauchrouten

Es wurden zwei verankerte Meßstationen ausgesetzt, die über den gesamten Zeitraum der Arbeiten in diesem Gebiet Strömungs- und CTD-Daten aufzeichneten. Eine Verankerung befand sich im Zentrum des Schlammvulkans, ausgerüstet mit einem CTD-Strömungsmesser 5 m über dem Meeresboden (müMb) und einem CTD-Meßgerät ca. 50 m darüber (Abbildung 22). Die zweite Verankerung kam außerhalb des Zentrums in der Hauptströmungsrichtung des Meßgebietes zur Anwendung,

ausgerüstet mit zwei baugleichen CTD-Strömungsmessern, 5 und 55 müMb. Mit dieser Anordnung (Abbildung 22) sollen Unterschiede in den Strömungsgeschwindigkeiten und CTD-Daten innerhalb und außerhalb des Kraters registriert werden, die später in die Modellierung der vermuteten Gasaustrittsfahne einfließen müssen.

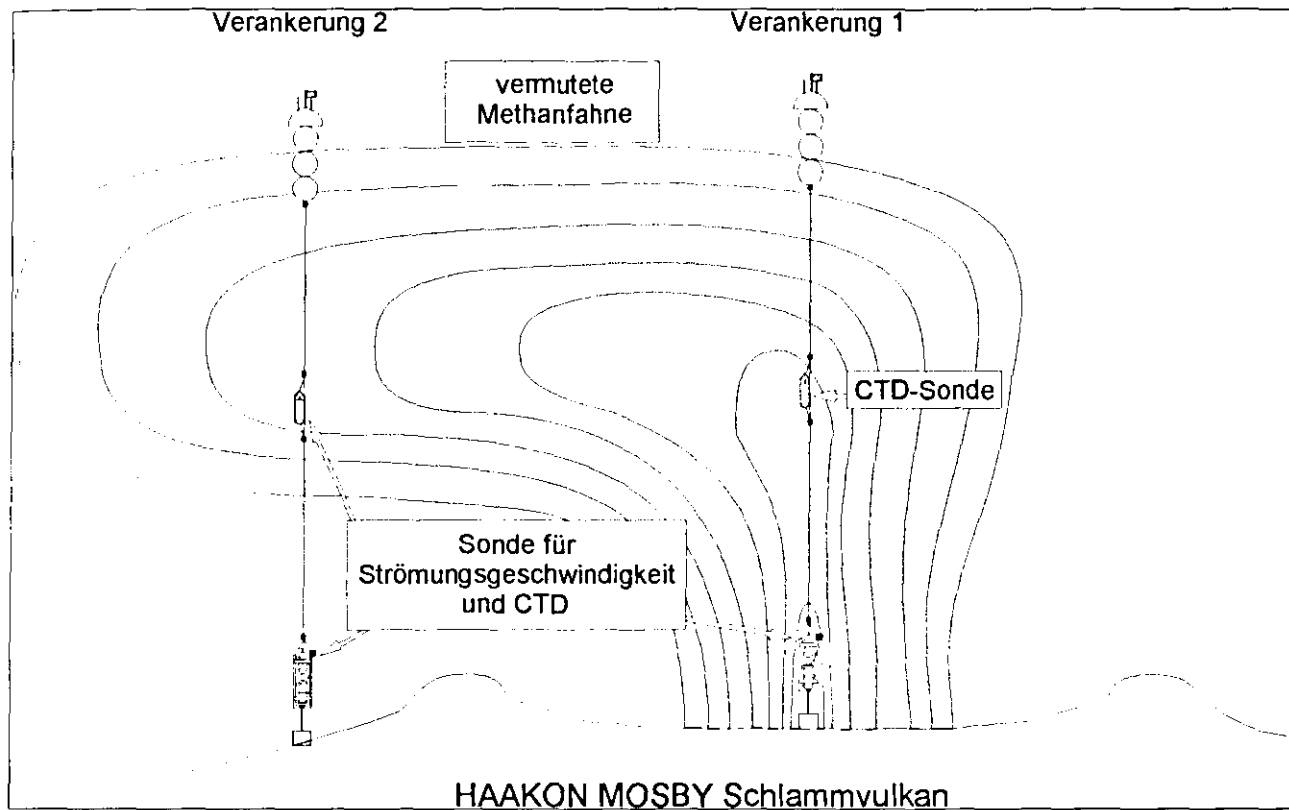


Abbildung 22: Skizze der vermuteten Methanfahne mit der Position der verankerten Meßstationen

Neben den Tauchfahrten und dem Aussetzen der Verankerungen wurden wie im Storegga-Gebiet Beprobungen der Wassersäule und des Meeresbodens von Bord aus durchgeführt; Wärmeflußmessungen wurden an sechs Lokationen vorgenommen. Während der letzten Fahrt der MIR 1 erfolgte eine Planktonzählung in verschiedenen Wassertiefen.

6.3 Knipovich Rücken

Das Arbeitsgebiet am Knipovich Rücken wurde aufgrund der Forschungsinteressen der ausländischen Partner in das Programm dieser Forschungsfahrt aufgenommen. An dieser Stationen fanden nach einer kurzen Echolotkartierung zwei Doppel- und eine Einzeltauchfahrt (MIR 1) statt. Die Methansensoren wurden vor den Tauchfahrten demontiert, da sie nicht für den Einsatz in Tiefen über 1500 m geeignet sind. Die Arbeiten von Bord aus beschränkten sich auf eine Wasserprobennahme mittels Rosette sowie das Abteufen eines Schwerelotes.

6.4 Vestnesa Rücken

Dieses Arbeitsgebiet zeigt auf Seitensichtsonar-Aufnahmen zahlreiche Objekte, die als Pockmarks interpretiert werden. Neben der geplanten Doppeltauchfahrt wurde eine zusätzliche Einzeltauchfahrt durchgeführt, nachdem sich in der Nähe der zunächst zusätzlich geplanten Station 'Molloy Deep' Packeis auf dem Radar zeigte. In dem Arbeitsgebiet Vestnesa Rücken wurden mehrere Wasser- und Bodenproben genommen, Wärmeflußmessungen an vier Lokationen durchgeführt und eine Verankerung mit zwei CTD-Strömungsmeßgeräten für 12 Stunden ausgesetzt.

Als Besonderheit dieses Arbeitsgebietes wurde zu Beginn eine Aufzeichnung mittels tiefgeschleppten 30 kHz Seitensicht-Sonar anstelle der in den anderen Gebieten durchgeführten Echolot-Kartierung vorgenommen (Abbildung 23). Die Schlepphöhe über dem Meeresboden betrug rd. 100 m. Hierdurch wird erwartet, daß die Pockmarks mit einer höheren lateralen Auflösung als bei den SeaMARC II Daten aufgezeigt werden können. Aufgrund der limitierten Kabellänge an Bord der Keldysh (1500 m) mußte das Seitensicht-Sonar-Gerät sehr langsam geschleppt werden. Hierdurch konnten lediglich drei Profile aufgezeichnet werden. Diese weisen jedoch eine sehr gute Qualität auf. Durch eine sofortige erste Interpretation der Aufzeichnungen an Bord konnte die detaillierte Festlegung der geplanten Tauchkurse deutlich verbessert werden.

Mit dem Ende der Arbeiten an dieser Station war der wissenschaftlichen Teil der Forschungsfahrt beendet. Auf dem Weg zum Zielhafen Tromsø wurde während eines Zwischenstops das gesunkene Atom-U-Boot Komsomolets mittels einer Tauchfahrt von den russischen Partnern auf radioaktive Austrittszonen hin überprüft.

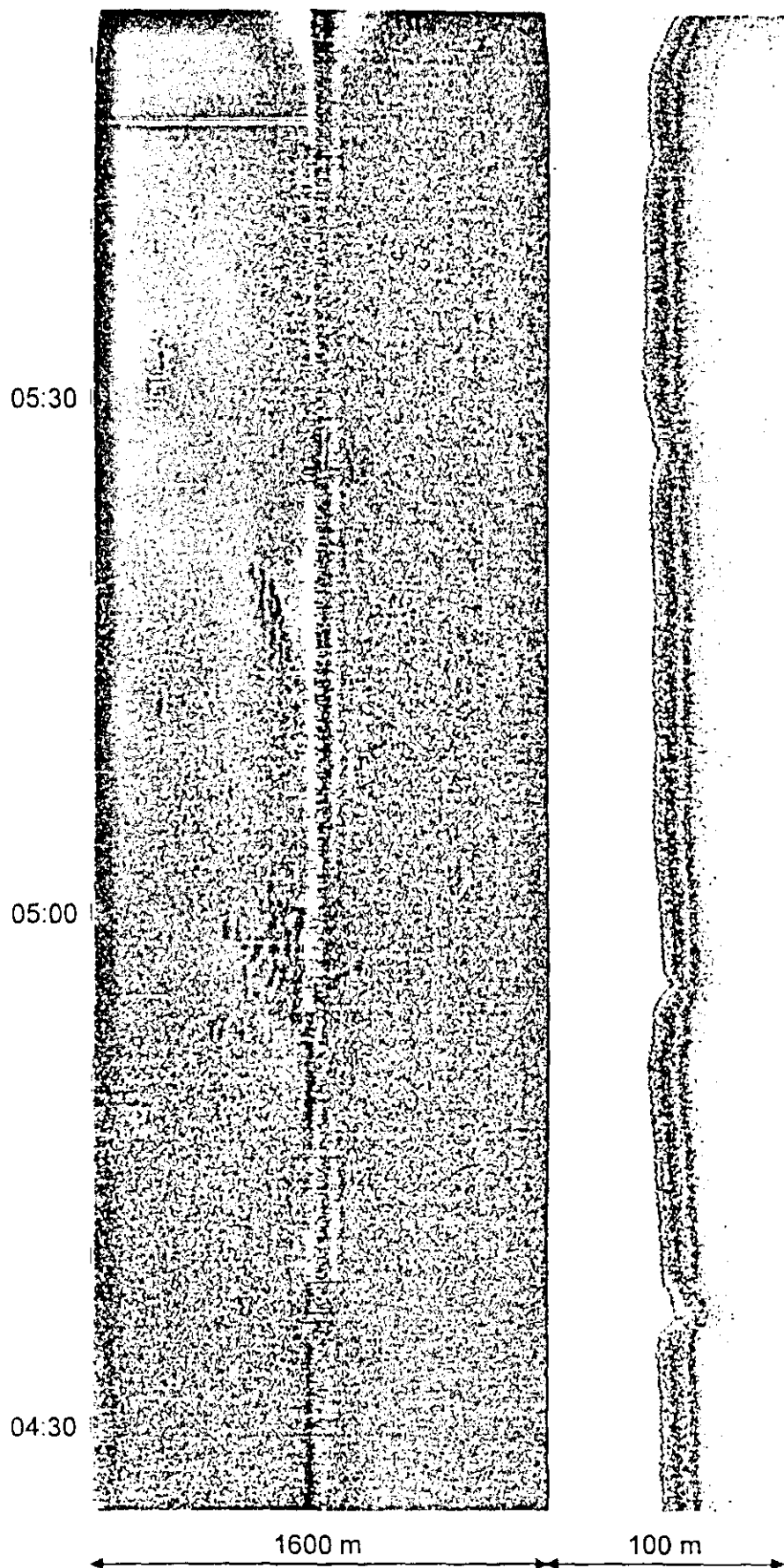


Abbildung 23: Seitensicht-Sonar-Aufnahme am Vestnesa Rücken

7 Erste Ergebnisse

7.1 Storegga Rutschmasse

7.1.1 Station 1: Schlammvulkan

Der Meeresboden zeichnet sich generell durch zwei unterschiedliche Erscheinungsformen in der Morphologie aus. Sehr gleichförmige, flache Bereiche wechseln sich mit Sequenzen ab, die mehrere asymmetrische Rücken geringer Höhe (< 30 m) umfassen.

Die ebenen Bereiche bestehen zumeist aus grauem, sehr feinkörnigem Sediment. Die Morphologie ist in weiten Teilen durch eine rippelförmige Oberflächenstruktur geprägt; es könnte sich hierbei um Strömungsrippeln handeln. Die Rippeln sind etwa 10 cm hoch; der Abstand der Rippelkämme beträgt maximal 50 cm. Trotz dieser Rippeln auf dem Meeresboden ließ sich keine signifikante Strömung feststellen. Vom Tauchboot aufgewirbelte Sedimentwolken lösten sich nur äußerst langsam wieder auf. Unterhalb der nur wenige Zentimeter dicken grauen Sedimentschicht erscheint ein helleres, vermutlich karbonatreicheres Sediment.

Die bis zu zehn beobachteten Rückenstrukturen, die zum Teil nur 50 m auseinander liegen, fallen zumeist nach Süden hin leicht und nach Norden hin mit einem $70-90^\circ$ steilen Hang ab. Einige wenige Rücken zeigen ein gegensätzliches Bild mit dem steilen Hang auf der südlichen Seite. Die Rückenköpfe sind zwischen 90° und 105° orientiert. Sie sind mit Fragmenten kleiner Röhren und Kamme unterschiedlicher Ausmaße (\varnothing : < 15 cm; Länge: $< 0,7$ m) reichlich übersät. Meist umgestürzt auf dem Boden liegend sind sie mit einer ca. 2 cm dünnen Sedimentschicht bedeckt. Das Vorkommen dieser Röhren und Kamme und die bis zu 1 m dicken hellen Karbonatkrusten weisen auf Fluidaustritte hin, die dünne Sedimentbedeckung belegt jedoch, daß diese seit geologisch kurzer Zeit (wenige 1000 Jahre) zum Stillstand gekommen sind. Die Entstehung der Rücken kann wahrscheinlich mit hydrothermalen Aktivitäten in Verbindung gebracht werden; Faltungsprozesse müssen hierbei ebenfalls in die Überlegungen einbezogen werden. Es war leider nicht möglich, Proben der pagodenartigen Sedimentstrukturen mit den Greifarmen der Tauchboote zu nehmen, da diese beim Zugreifen sofort auseinanderfielen.

Während der Tauchfahrten konnten etwa 20 Fische, meist Rochen, beobachtet werden. In einigen Bereichen mit verfestigtem Sediment siedeln Pogonophoren (Röhrenwürmer). Korallen und weiße Schwämme (Abbildung 24) treten nur in geringer Anzahl auf.

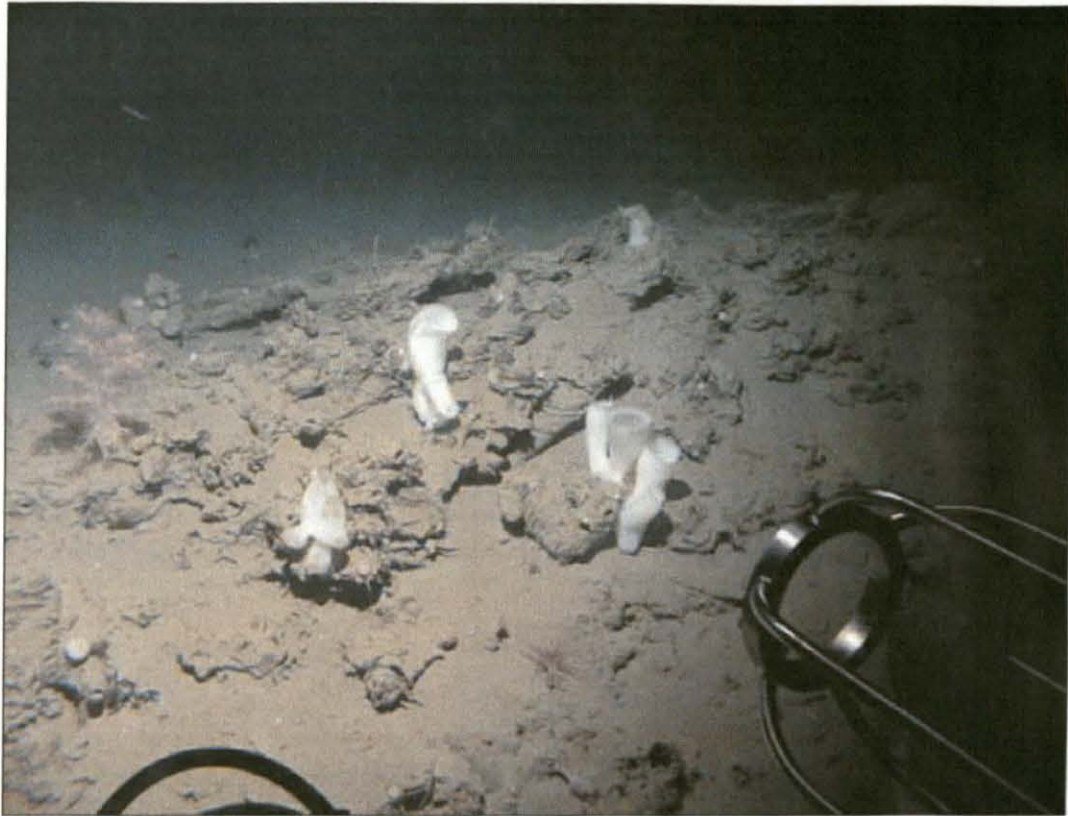


Abbildung 24: Unterwasseraufnahme mit Korallen und Schwämmen

Die Wärmeflußmessungen in diesem Gebiet bestätigen den Eindruck der mittlerweile erloschenen Aktivität, wobei lediglich die drei vom Schiff aus durchgeführten Messungen Daten lieferten. Die thermischen Gradienten liegen im Zentrum des Objekts bei $91,3 \pm 14,4$ °C/km, 100 m nördlich davon bei $79 \pm 2,5$ °C/km und 200 m nördlich davon bei $84,5 \pm 8,6$ °C/km.

Ein Anstieg der Methankonzentration über dem Meeresboden ist nicht festzustellen, weder durch die mit den Methansensoren durchgeführten Messungen (Abbildung 25) noch durch die Analyse der Wasserproben mittels Gaschromatographen (GC, Abbildung 26). Die Wasserproben zeigen vielmehr einen Abfall der Konzentration von der Oberfläche zum Meeresboden hin, was beim Fehlen von Austrittsstellen eine normale Situation beschreibt. Die Konzentration an der Wasseroberfläche liegt in der üblichen Größenordnung von 0,05-0,1 µl/l.



Abbildung 25: Unkalibrierte Meßwerte der Methansensoren an der Storegga Rutschmasse, Station 1

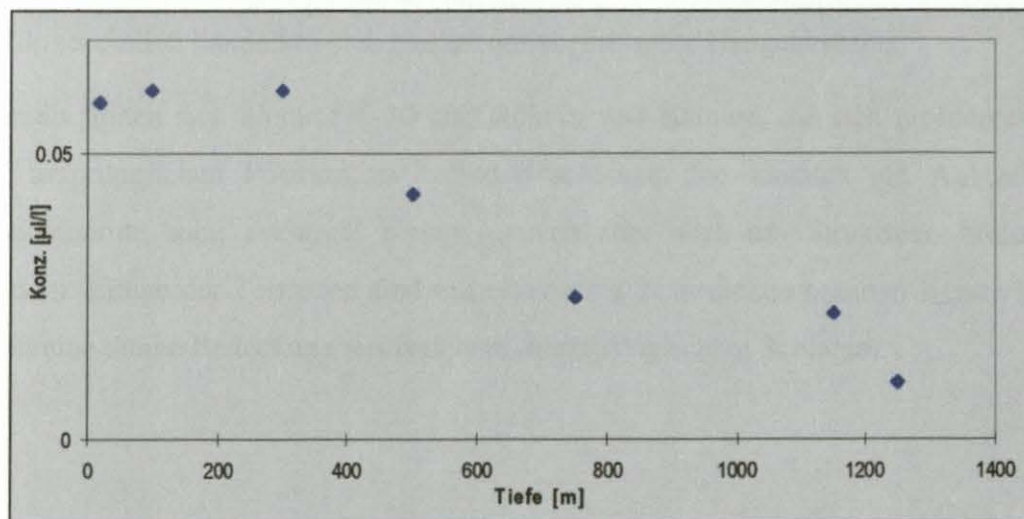


Abbildung 26: Methankonzentration-Tiefe-Profil aus Analyse der Wasserproben mittels GC

7.1.2 Station 2: Rutschungs-Escarpment

Der Meeresboden am Fuße des Escarpments ist gleichförmig und besteht aus feinkörnigem Sediment mit wellenförmiger Morphologie, vermutlich geprägt durch Strömungsrippeln, die eine Wellenlänge von 1-2 m und Amplituden von ca. 20 cm aufweisen. Der Hang des Escarpments ist terrassenförmig ausgebildet (Abbildung 27). Die einzelnen Hangsegmente sind steil, teilweise sogar nahezu vertikal.

Sie legen die horizontale Stratifikation der Sedimentbedeckung des Gebietes frei; es könnte sich hierbei um Aufschlüsse handeln, die bis in das Miozän hineinreichen. Die Sedimente bestehen gleichförmig aus hartem, hellgrauem bis cremefarbigem, silikathaltigem Ton. Sowohl am Fuß des Escarpments als auch auf den Terrassen fanden sich Sedimentblöcke von bis zu 100 cm Größe, die zumeist ebenfalls aus dem harten, hellgrauen Ton bestehen, zum Teil aber auch Hartgesteine sind. Sie

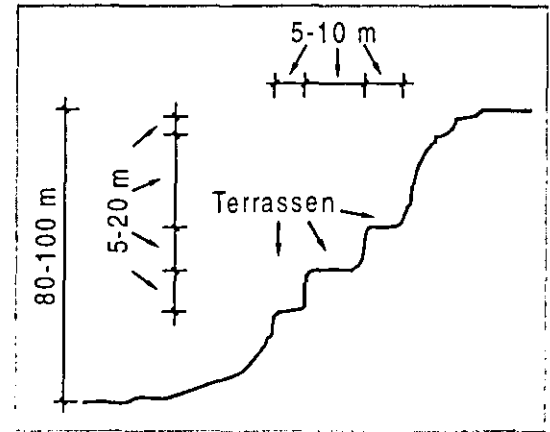


Abbildung 27: Schnittsskizze durch den Escarpment-Hang

wurden wahrscheinlich erosiv aus der Wand herausgelöst, primär durch Bodenströmungen oder auch durch biologische Erosionsprozesse.

Am westlichen Ende des Untersuchungsgebietes treten an einem flacheren Hang Sedimentblöcke aus hartem hellgrauem Ton mit Abmessungen von 10-15 m auf, in denen die interne Schichtung erhalten ist. Wahrscheinlich handelt es sich hierbei um abgerutschte Hangabbrüche.

Auf den Terrassen finden sich kleine (10-30 cm) Röhren und Kamine, die sich größtenteils nicht mehr in ihrer ursprünglichen Position zu befinden scheinen. Sie könnten ein Anzeichen für erloschene Fluidaustritte sein; eventuell könnte es sich aber auch um Strukturen biologischen Ursprungs handeln. Einige der Terrassen sind mit einer etwa 2 cm dicken braunen Kruste bedeckt, teilweise besteht eine dünne Bedeckung aus weichem, hemipelagischem Schlamm.

Die Meßkurven der Methansensoren geben keine Hinweise auf erhöhte Methankonzentrationen in der Wassersäule entlang der Tauchrouten (Abbildung 28). Die geringen Amplitudenschwankungen in den Methankurven (rot) korrespondieren mit Undulationen in den Temperaturkurven (blau), so daß sie im Rahmen der noch durchzuführenden Kalibrierung herausfallen werden.

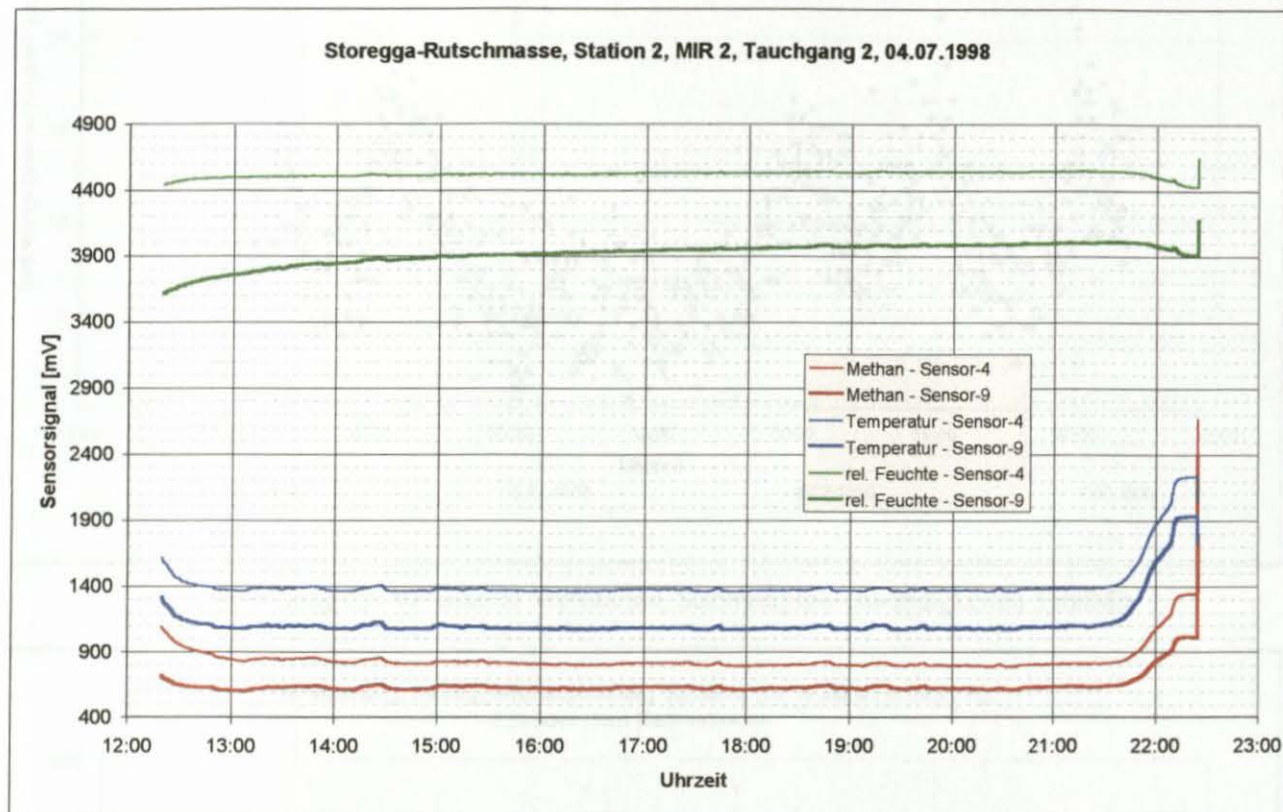


Abbildung 28: Unkalibrierte Meßwerte der Methansensoren an der Storegga Rutschmasse, Station 2

Die Wärmeflußmessungen, zwei von Bord der Keldysh und eine vom Tauchboot MIR 2 aus, zeigten keine erhöhten thermischen Gradienten. Die Werte der Bordmessungen lagen bei $74,6 \pm 5,2$ °C/km und $60,6 \pm 2,0$ °C/km. Die Messung der MIR 2 ergab einen Wert von 100 °C/km.

Im Untersuchungsraum wurden keine Hinweise auf Gashydratvorkommen entdeckt, auch nicht im Bereich der Hangrutschung innerhalb der Hydratstabilitätszone!

Die Daten der verankerten Strömungsmeßstation wiesen eine durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit von 10 cm/s mit wechselnder Richtung von 120° bis 240° nach (Abbildung 29, Abbildung 30).

Verankerung, Storegga-Rutschmasse, Station 2 (64°39,00'N / 4°09,20'E),
5 m über dem Meeresboden

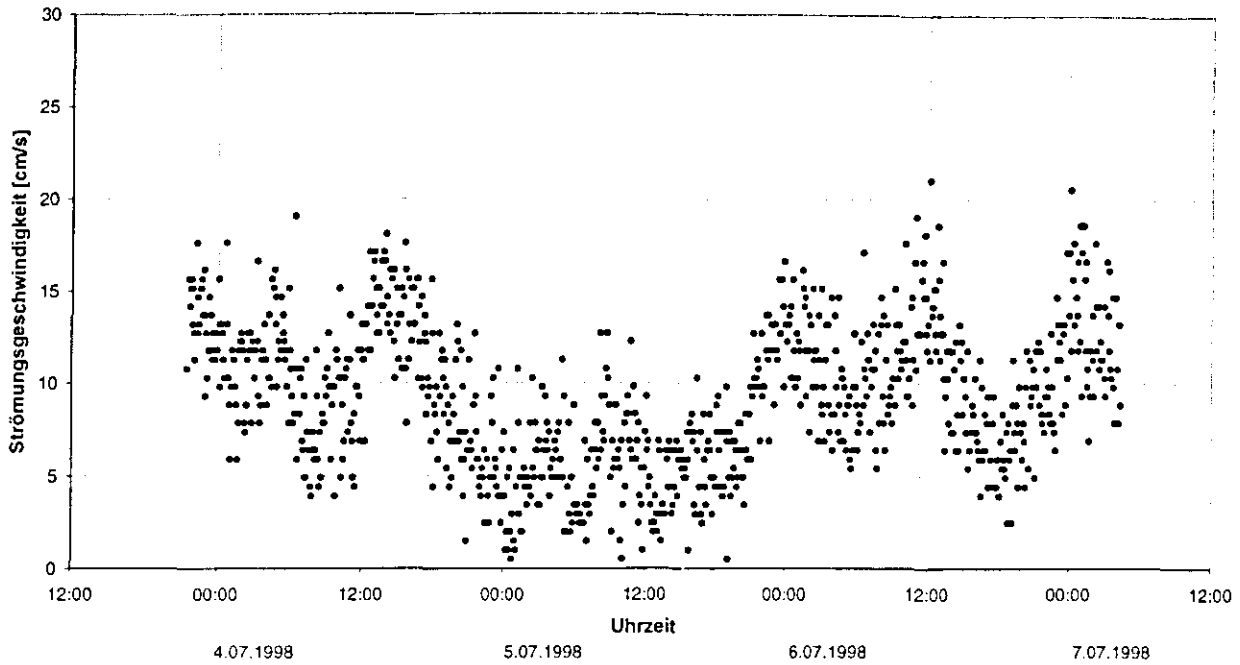


Abbildung 29: Verankerte Meßstation, Strömungsgeschwindigkeiten 5 müMb.

Verankerung, Storegga-Rutschmasse, Station 2 (64°39,00'N / 4°09,20'E),
5 m über dem Meeresboden

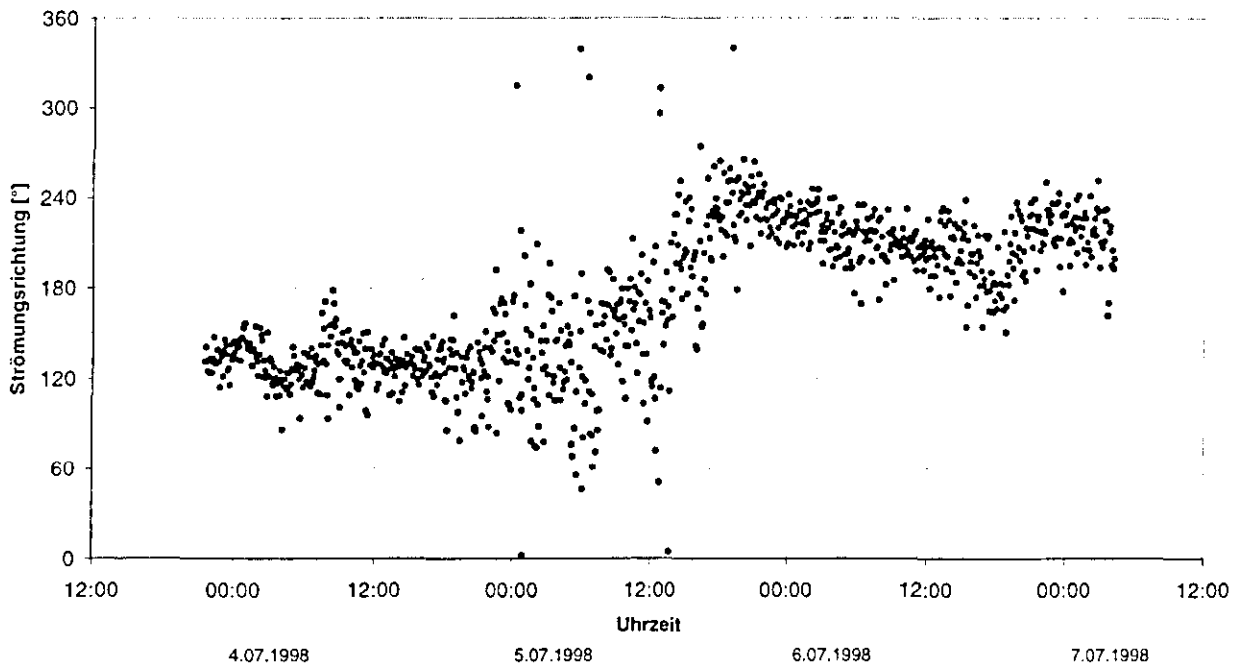


Abbildung 30: Verankerte Meßstation, Strömungsrichtungen 5 müMb.

Neben etwa 20-25 Fischen und einigen Schwämmen wurden drei Seepalmen (*Umbellulae*) gesichtet.

7.1.3 Station 3: Gasaustrittszonen (Pockmarks)

Die beiden Tauchbootfahrten führten in zwei unterschiedliche Teilgebiete dieses vermeintlichen Pockmarkfeldes. In beiden Gebieten traf man auf einen weitestgehend flachen, gleichförmigen Meeresboden, auf dem keine Anzeichen für die in den Seitensicht-Sonar-Aufnahmen identifizierten Strukturen (Pockmarks) zu erkennen waren. Lediglich einige kleine Erhebungen mit einer Höhe von ca. 0,5 m und einem Durchmesser von ca. 3 m und mindestens sieben größere Hügel (\varnothing : > 10 m; Höhe: ca. 2 m) konnten im Bereich der vermuteten Austrittsstellen beobachtet werden. Auf den Erhebungen und Hügeln siedeln Pogonophoren, vereinzelt Korallen, Schwämme, Stachelhäuter (Seesterne, Gorgonenhäupter, Abbildung 31) und einige wenige Seepalmen. Die Hügel weisen einen rötlichen (Fe-Mn-Oxid), harten Untergrund im Kronenbereich und eine plattige, teilweise gebrochene Kruste in den Seitenbereichen auf, wodurch sie eine pagodenartige Erscheinungsform erhalten. Diese lokalen morphologischen Erscheinungen, die bis zu ca. 2 km auseinander liegen, sind die auffallendsten Besonderheiten in einer ansonsten wüstenartigen Tiefseeumgebung, die auf ehemalige aktive Austrittszonen von Fluiden und Gasen hinweisen.



Abbildung 31: Gorgonenhaupt (*Gorgonocephalus*)

Trotz der Ansammlung von Copepoden, die eine mögliche Methananreicherung in der Wassersäule anzeigen könnten, ist kein aktiver Methanaustritt festzustellen. Weder die Methansensoren (Abbildung 32) noch die Analysen der Wasserproben mittels GC (Abbildung 33) konnten eine erhöhte Methankonzentration nachweisen. Die gemessenen thermischen Gradienten zwischen 33,3 und 53,3 °C/km unterstreichen den Eindruck, daß es sich hier um ein derzeit inaktives Gebiet handelt.

Storegga-Rutschmasse, Station 3, MIR 2, Tauchgang 3, 06.07.1998

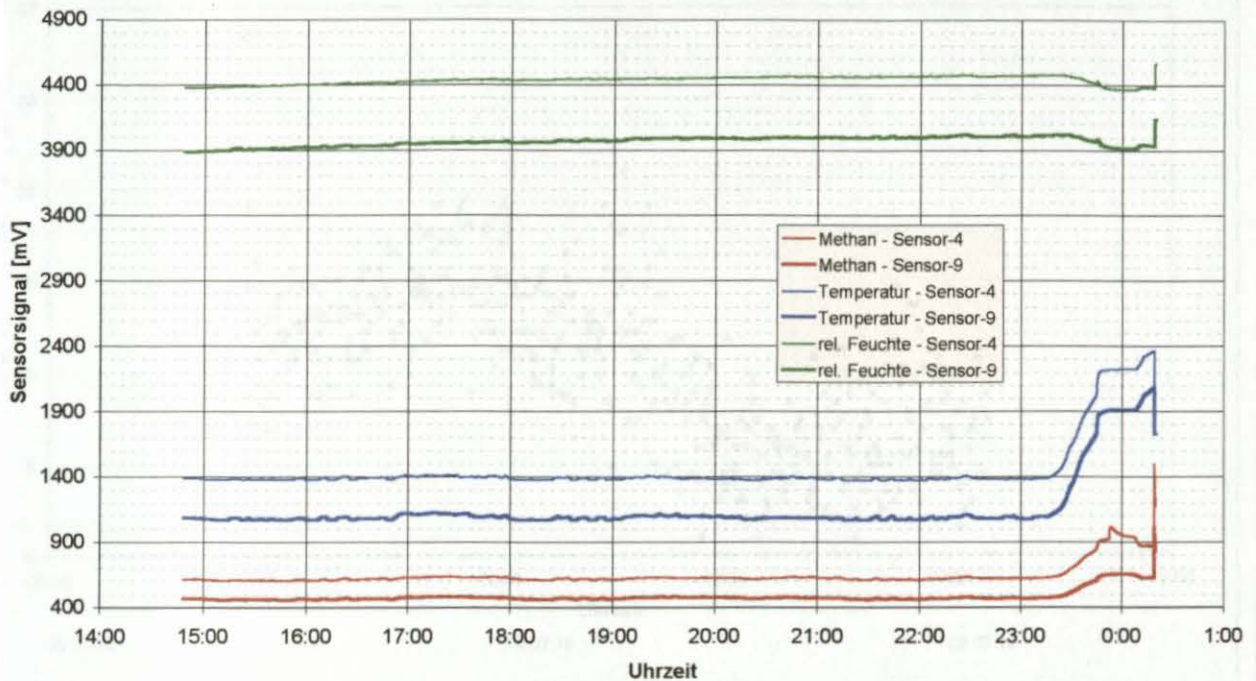


Abbildung 32: Unkalibrierte Meßwerte der Methansensoren an der Storegga Rutschmasse, Station 3

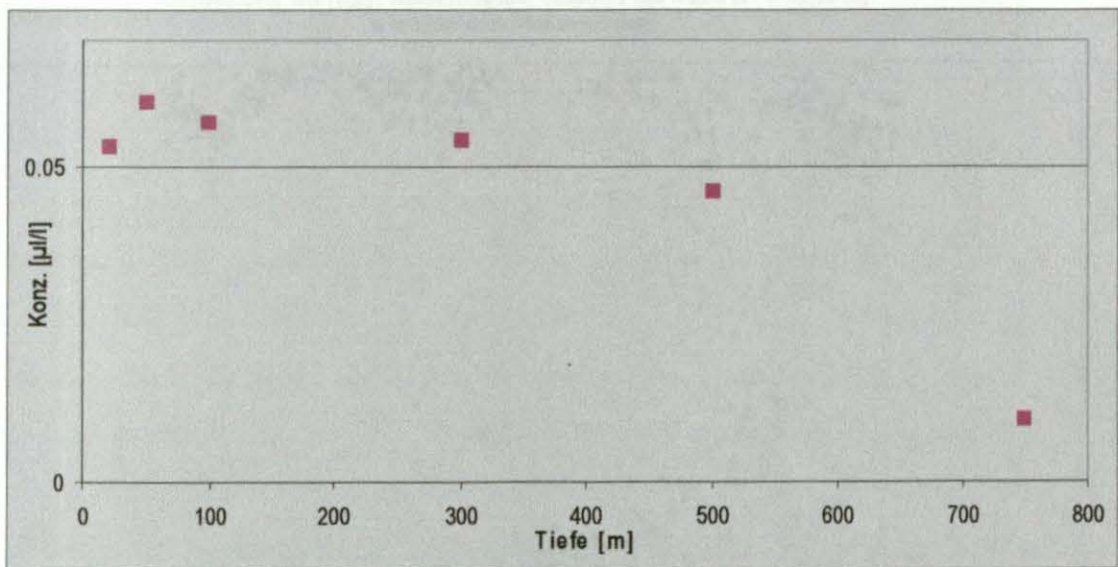
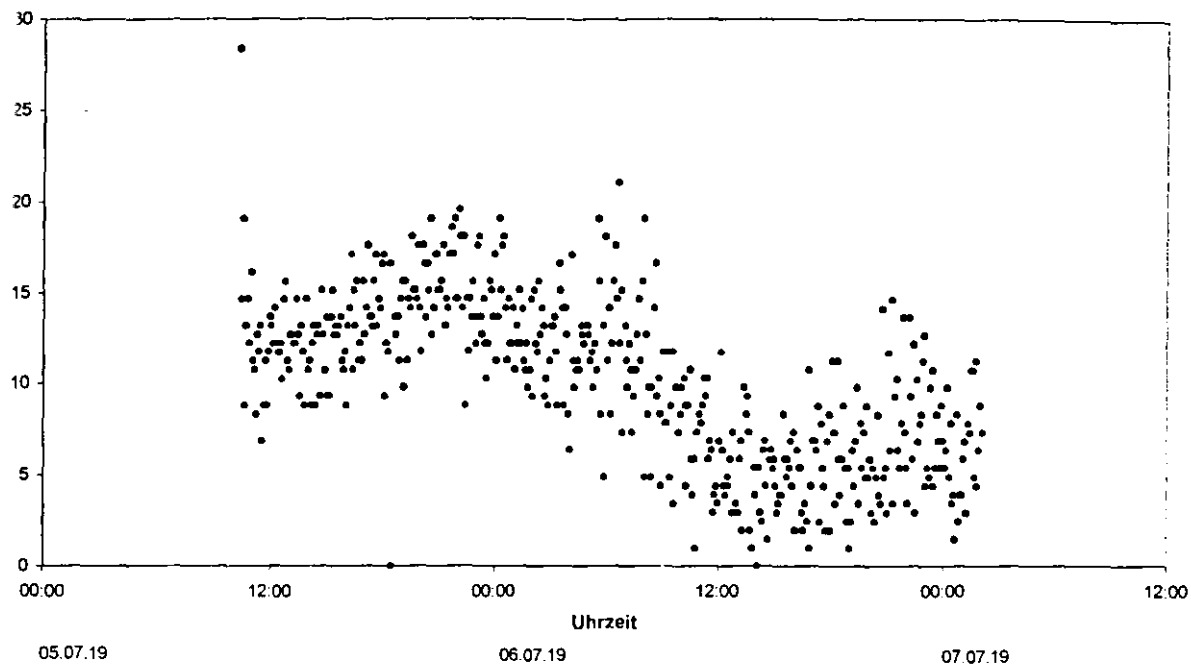


Abbildung 33: Methankonzentration-Tiefe-Profil aus Analyse der Wasserproben mittels GC

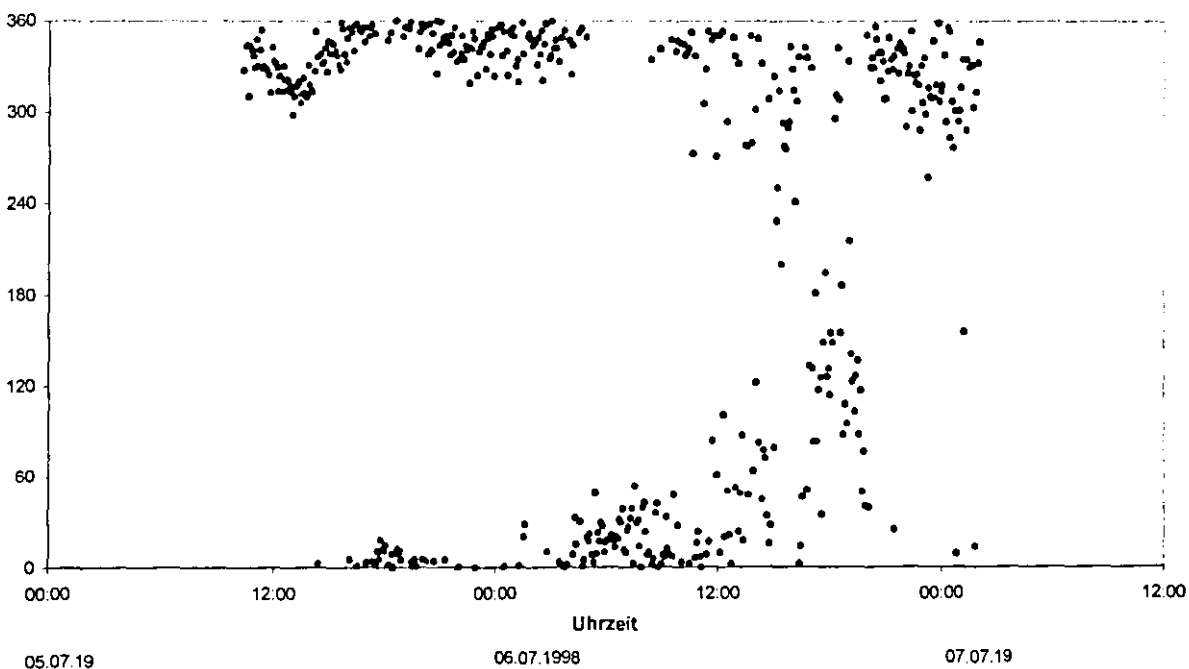
Die Daten der CTD-Strömungsmeßstation ergeben eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit von 1 cm/s (Abbildung 34) in nördlicher Richtung (Abbildung 35), die eine Bildung von Strömungsrippeln erwarten läßt. Es konnten dennoch keine Strömungsrippeln auf dem Meeresboden beobachtet werden.

Verankerung, Storegga-Rutschmasse, Station 3 (64°46,04'N / 4°48,26'E),
5 m über dem Meeresboden



ldung 34: Verankerung, Storegga-Rutschmasse, Station 3, Strömungsgeschwindigkeiten 5 müMb.

Verankerung, Storegga-Rutschmasse, Station 3 (64°46,04'N / 4°48,26'E),
5 m über dem Meeresboden



ldung 35: Verankerte Meßstation, Storegga-Rutschmasse, Station 3, Strömungsrichtungen 5 müMb.

Aufgrund der Seitensicht-Sonar-Aufnahmen konnte vermutet werden, daß deutliche Pockmarks zu finden sein würden. Dies konnte nicht bestätigt werden. Eine mögliche Erklärung dafür ist, daß die durch starke Rückstreuung charakterisierten Strukturen der Seitensicht-Sonar-Aufnahmen im Rahmen der Tauchfahrten nicht zu erkennen waren, weil die obere Sedimentschicht nahezu ungehindert vom seismischen Signal durchdrungen wird und die Aufnahmen das Abbild einer Struktur im Untergrund mit höherer akustischer Impedanz zeigen.

7.1.4 Zusammenfassung: Storegga Rutschmasse

Zusammenfassend können für das erste Untersuchungsgebiet am nördlichen Rand der Storegga Rutschmasse folgende erste Ergebnisse genannt werden.

1. Das Gebiet zeigt im Untersuchungsraum keine Anzeichen für derzeit aktive Gas- oder Fluidaustrittsprozesse.
2. Die Existenz eines BSRs, die Strukturen auf den Seitensicht-Sonar-Aufnahmen und die Beobachtungen während der Tauchfahrten lassen darauf schließen, daß in der Vergangenheit massiv Austrittsaktivitäten in diesem Gebiet stattgefunden haben. Wie diese in Verbindung zu den Rutschungsereignissen stehen, stellt eine der interessantesten und zentralen, zukünftigen Fragen dar.
3. Die Darstellung der Seitensicht-Sonar-Aufnahmen spiegelt nicht zwingend das tatsächliche Abbild des Meeresbodens wider. Zum einen können die obersten Sedimentlagen beim Vorliegen geringer akustischer Impedanzkontraste vom seismischen Signal durchdrungen werden (siehe Station 3), zum anderen ist die Auflösung begrenzt, so daß kleinräumige Strukturen nicht im Detail unterschieden werden (siehe Station 2). Die Auflösung der Vielfalt in der Morphologie unmittelbar am Escarpment könnte jedoch ein Schlüssel zum Verständnis des Zusammenhanges zwischen den Rutschungsereignissen, Sedimenttransport und Hydrodynamik in Verbindung mit der Zersetzung von Gashydraten sein.
4. Der Einsatz der Methansensoren war erfolgreich, die Sensoren an dem Tauchboot MIR 2 zeichneten die Daten bei allen Tauchfahrten störungsfrei auf. Im Fall des Tauchbootes MIR 1 verhinderten zunächst einige Stromversorgungsstörungen im Tauchboot und an den Sensoren den reibungslosen Betrieb der hier angebrachten Sensoren. Die Diagnose der ersten Messungen an Bord erbrachte wichtige Erkenntnisse für zukünftige Einsätze, für die Auswertung der jetzt gewonnenen Meßdaten und für die Weiterentwicklungen der Meßtechnik mit dieser Art von

Sensoren. So konnten Anzeichen für eine scheinbare Druckabhängigkeit der Sensoren festgestellt werden (Abbildung 36), die ggf. bei der Kalibrierung der Meßwerte zu berücksichtigen sein wird. Diese war für die Entwickler der Sensoren nicht ohne weiteres vorhersehbar, auch weil keine Erkenntnisse über den Einsatz in einer Tiefseeumgebung vorlagen.

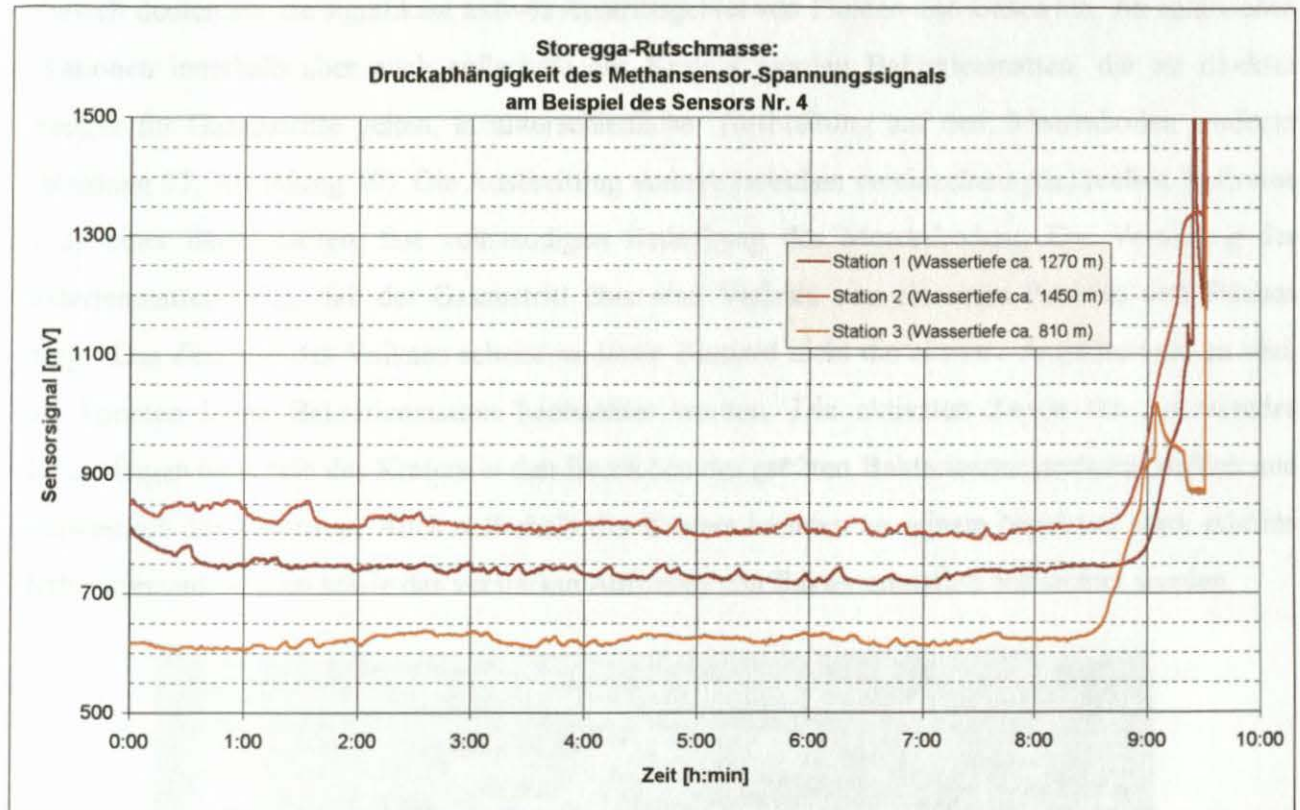


Abbildung 36: Diagramm zur Druckabhängigkeit der Methansensoren

7.2 Håkon Mosby Schlammvulkan (HMMV)

Die Tauchfahrten und Messungen am HMMV erbrachten besonders beeindruckende Resultate. Sowohl die Wärmeflußmessungen und erhöhten Methankonzentrationen als auch eine reichhaltige Lebewelt deuten auf ein signifikant aktives Austrittsgebiet von Fluiden und Gasen hin. An zahlreichen Lokationen innerhalb aber auch außerhalb des Kraters wurden Bakterienmatten, die als direkter Anzeiger für Gasaustritte gelten, in unterschiedlicher Ausbreitung auf dem Meeresboden entdeckt (Abbildung 37, Abbildung 39). Die Ausbreitung variiert zwischen vereinzelt punktuellen Auftreten bis zu einer flächenhaften, fast vollständigen Bedeckung des Meeresbodens. Die Verteilung der Bakterienmatten zeigt, daß der Gasaustritt über eine Vielzahl von einzelnen Punkten und Flächen erfolgt. Das Zentrum des Vulkans scheint in dieser Hinsicht nicht die aktivste Austrittsstelle zu sein, dort konnten keine Bakterienmatten beobachtet werden. Die aktivsten Zonen für austretendes Methan liegen innerhalb des Kraters in den Bereichen der größten Bakterienmattendichte südlich und nordwestlich des Zentrums. Auch außerhalb des Kraters konnten an seinem Nordrand stark erhöhte Methankonzentrationen sowie das verstärkte Auftreten von Bakterienmatten beobachtet werden.



Abbildung 37: Bakterienmatten am Meeresboden

In vier von zehn Sedimentkernen wurden dann auch Gashydrate vorgefunden (Abbildung 38). Ihr Auftreten wurde in einem limitierten Tiefenbereich von wenigen Dezimetern beobachtet. In den obersten Sedimentlagen sowie in den tieferen Abschnitten der Kerne konnten Gashydrate nicht nachgewiesen werden.



Abbildung 38: Gashydratprobe aus Schwerelot-Kern

Die Fauna und Flora am Meeresboden des HMMV zeigt alle typischen Charakteristiken einer 'hot vent/cold seep'-Lebensgemeinschaft, hervorgerufen durch das Auftreten chemosynthetischer und methanotropher Bakterien, deren Aktivitäten die Grundlage der Nahrungskette darstellen.

Die benthische Lebensgemeinschaft wird eindeutig durch zwei Pogonophoren-Arten (Röhrenwürmer), *Sclerolium sp.* und *Oligobrachia sp.*, dominiert, die in Symbiose mit den methanotrophen Bakterien leben. Das Vorkommen beider Arten ist auf den Krater begrenzt. Sie erscheinen nicht außerhalb des Kratergebietes. *Sclerolium* ist die vorherrschende Art. Sie bildet große Kolonien mit einer Ausdehnung von hunderten von Quadratmetern und einer Meeresbodenbedeckung von bis zu 80 %. *Oligobrachia*, deren Vorkommen in Verbindung mit dem Auftreten von chemisch stärker reduzierten Sedimenten steht, ist weniger zahlreich. Die Biomasse liegt nach ersten Abschätzungen bei mindestens 435 g/m² für *Sclerolium* und 350 g/m² für *Oligobrachia*.

In Zusammenhang mit der Existenz der Pogonophoren stehen dichte Populationen von caprelliden Amphipoden (*Caprellidae*), Pycnogoniden und Fischen (speziell *Lycodes frigidus*, Fam. Zoarcidae, Abbildung 39). Diese Arten treten in weitaus geringerer Populationsdichte auch außerhalb des Kratergebietes auf.



Abbildung 39: Meeresbodenfotografie mit Bakterienfeldern (inkl. dunklen, chemisch reduzierten Sedimenten), Pogonophoren (auf den kleinen Erhebungen) und einigen Fischen (*Lycoides frigidus*, z.T. zusammengerollt auf dem Meeresboden liegend)

Die Messung der Methankonzentration durch die Methansensoren und Wasserproben ergaben deutliche Anzeichen für einen starken Methanaustritt innerhalb und aus vereinzelt Austrittsstellen unmittelbar außerhalb des Kraters, insbesondere an seinem Nordrand. Die Konzentrationen lagen am Meeresboden deutlich über dem Normalwert von $0,01-0,02 \mu\text{l/l}$. Direkt über vermuteten Austrittsstellen konnten mittels GC-Analysen Werte in der Größenordnung von einigen Hundert $\mu\text{l/l}$ aus den Wasserproben, die auf den Tauchfahrten unmittelbar über dem Meeresboden genommen wurden, bestimmt werden.

Aus den Analysen derjenigen Wasserproben, die mit der Rosette eingebracht wurden, können Methankonzentrationsprofile in der Wassersäule erzeugt werden. Die nachfolgende Abbildung (Abbildung 40) zeigt die vier im Bereich des HMMV durchgeführten Messungen.

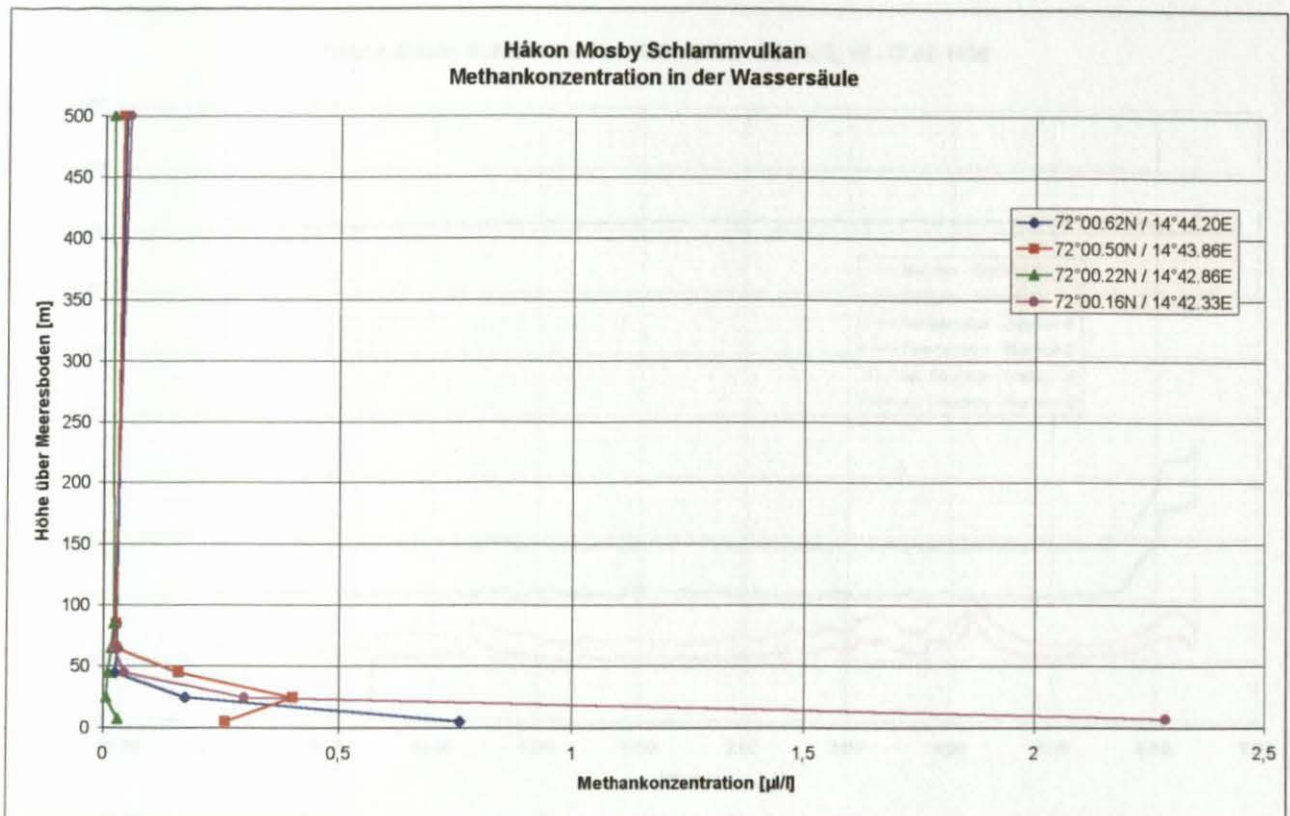


Abbildung 40: Methankonzentration-Tiefe-Profil aus Analyse der Rosetten-Wasserproben mittels GC

Die violette Kurve wurde innerhalb des Kraters gewonnen, die blaue und rote Kurve stammen von Messungen nordöstlich des Kraters im Strömungslee und die grüne Kurve spiegelt eine Messung westlich des Kraters im Strömungsluv wider. Bereits diese Grafik veranschaulicht, daß innerhalb des Kraters die größte Konzentration existiert, im Strömungslee deutlich erhöhte Konzentrationswerte vorhanden sind und im Strömungsluv normale Hintergrundwerte vorherrschen, auf die bei ca. 60 m über dem Meeresboden alle Kurven abfallen. An der Wasseroberfläche lag die Methankonzentration ebenfalls in der normalen Größenordnung.

Die Messungen der Methansensoren zeigen stark variierende Methankonzentrationen auf hohem Niveau (Abbildung 41). Aufgrund der noch ausstehenden Erstellung exakter Kalibrierungskurven ist zur Zeit nur eine qualitative Bewertung dieser Daten möglich. Die erfolgreich aufgezeichneten Profile erscheinen im Hinblick auf die ausstehenden Analysen sehr vielversprechend.

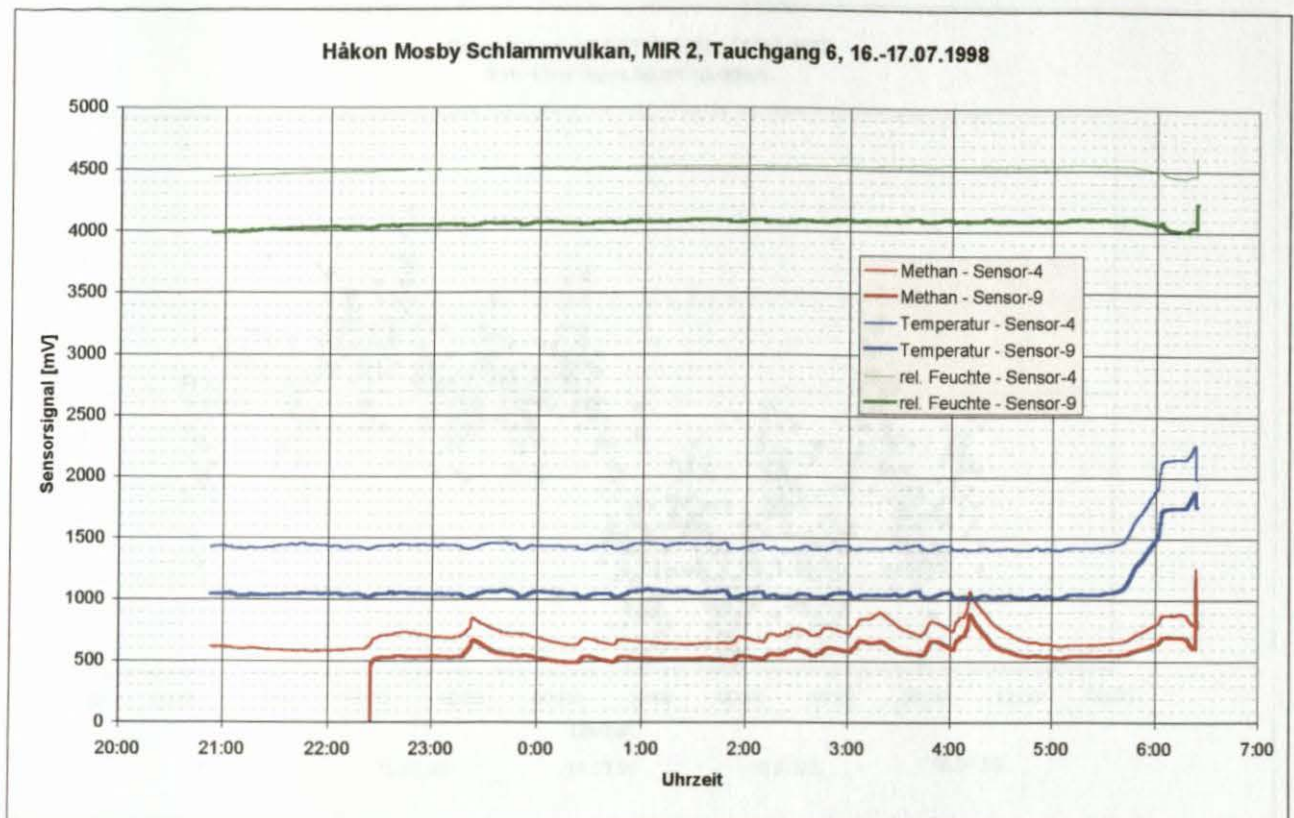


Abbildung 41: Meßwerte der Methansensoren am HMMV

Die roten Kurven der Spannungssignale der Methansensoren zeigen deutliche Schwankungen (Abbildung 41), die sich nicht in den Kurven der Temperatur und der relativen Feuchte widerspiegeln; somit also nicht im Rahmen der Kalibrierung herausfallen werden.

Der Einsatz der zwei verankerten Meßstationen am HMMV erfolgte mit unterschiedlichem Erfolg. Meßstation 2, die außerhalb des Kraterbereiches abgesenkt wurde, arbeitete ohne Probleme. Bei der innerhalb des Kraters eingesetzten Meßstation 1 erfolgte beim Strömungsmessser 5 m über dem Meeresboden leider keine Registrierung, da eine defekte Steckerverbindung die Stromversorgung unterbrach. Die CTD-Sonde der Meßstation 1 in 55 m Höhe zeichnete dagegen störungsfrei auf. Die nachfolgenden Diagramme (Abbildung 42 - Abbildung 45) zeigen die Strömungsdaten der Meßstation 2.

Bei den Strömungsrichtungen ist zu berücksichtigen, daß die Registrierungen über einen eingebauten Kompaß erfolgen. Die Werte beziehen sich demnach auf den magnetischen Nordpol. Dies bedeutet, daß aufgrund der hohen Breite des Arbeitsgebietes eine Orientierung von $0^\circ/360^\circ$ nicht Norden entspricht. Für das Arbeitsgebiet am HMMV ist eine Korrektur von rd. 30° erforderlich.

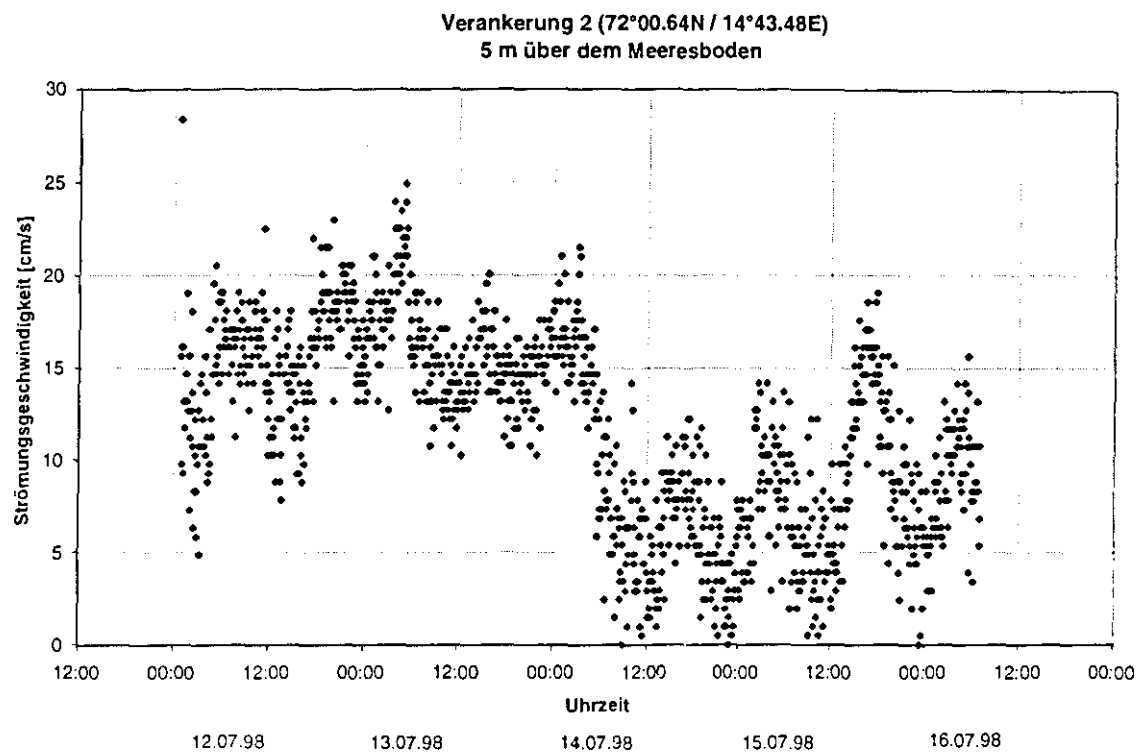


Abbildung 42: Verankerte Meßstation 2, Strömungsgeschwindigkeiten 5 müMb.

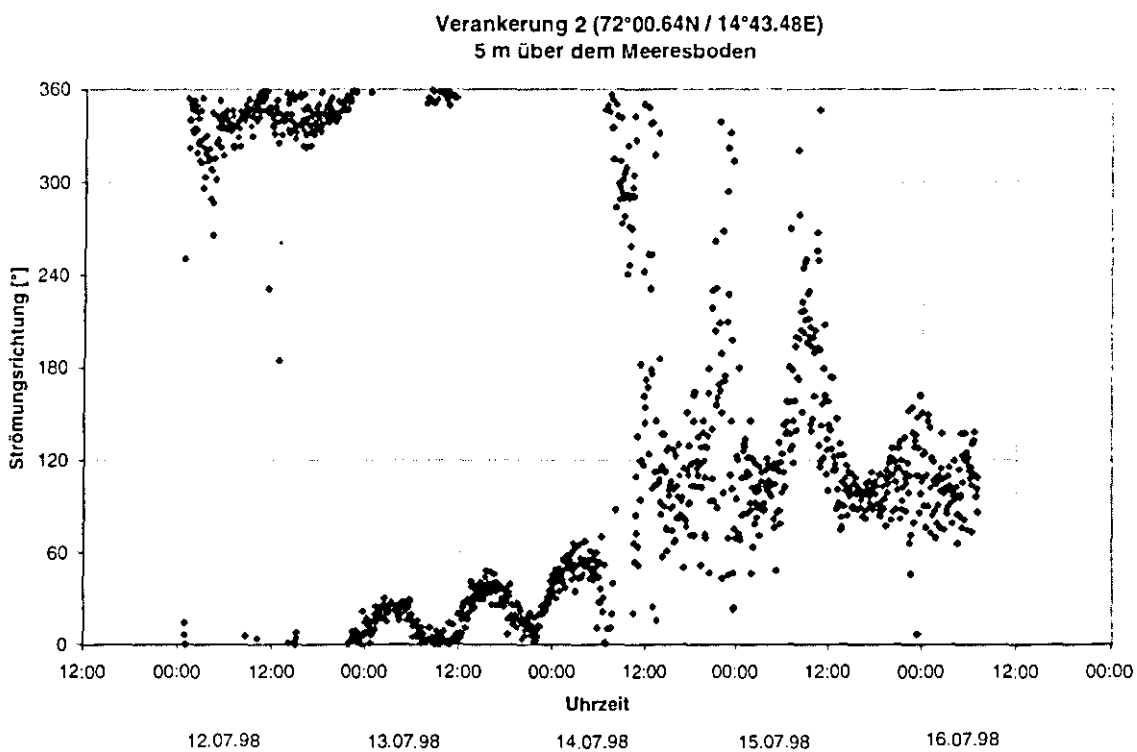


Abbildung 43: Verankerte Meßstation 2, Strömungsrichtungen 5 müMb.

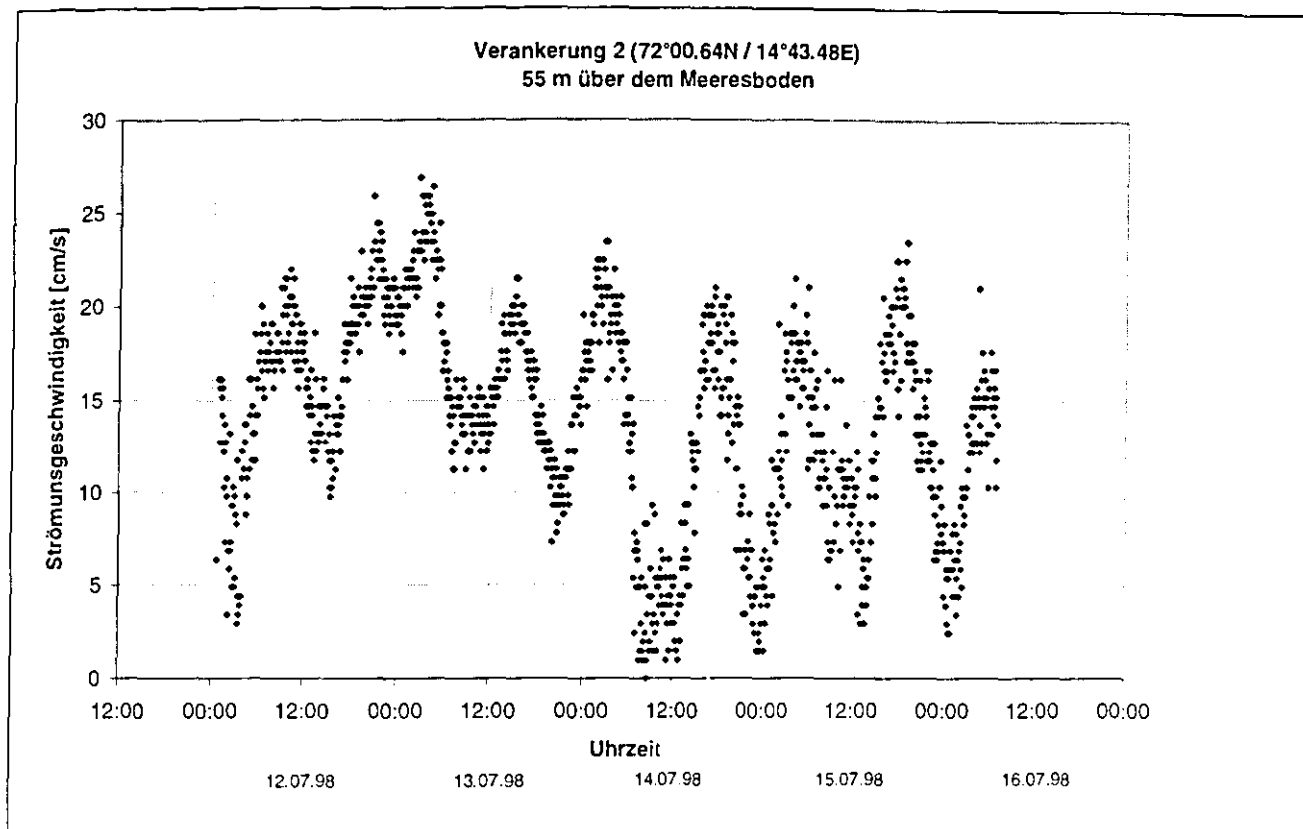


Abbildung 44: Verankerte Meßstation 2, Strömungsgeschwindigkeiten 55 müMb.

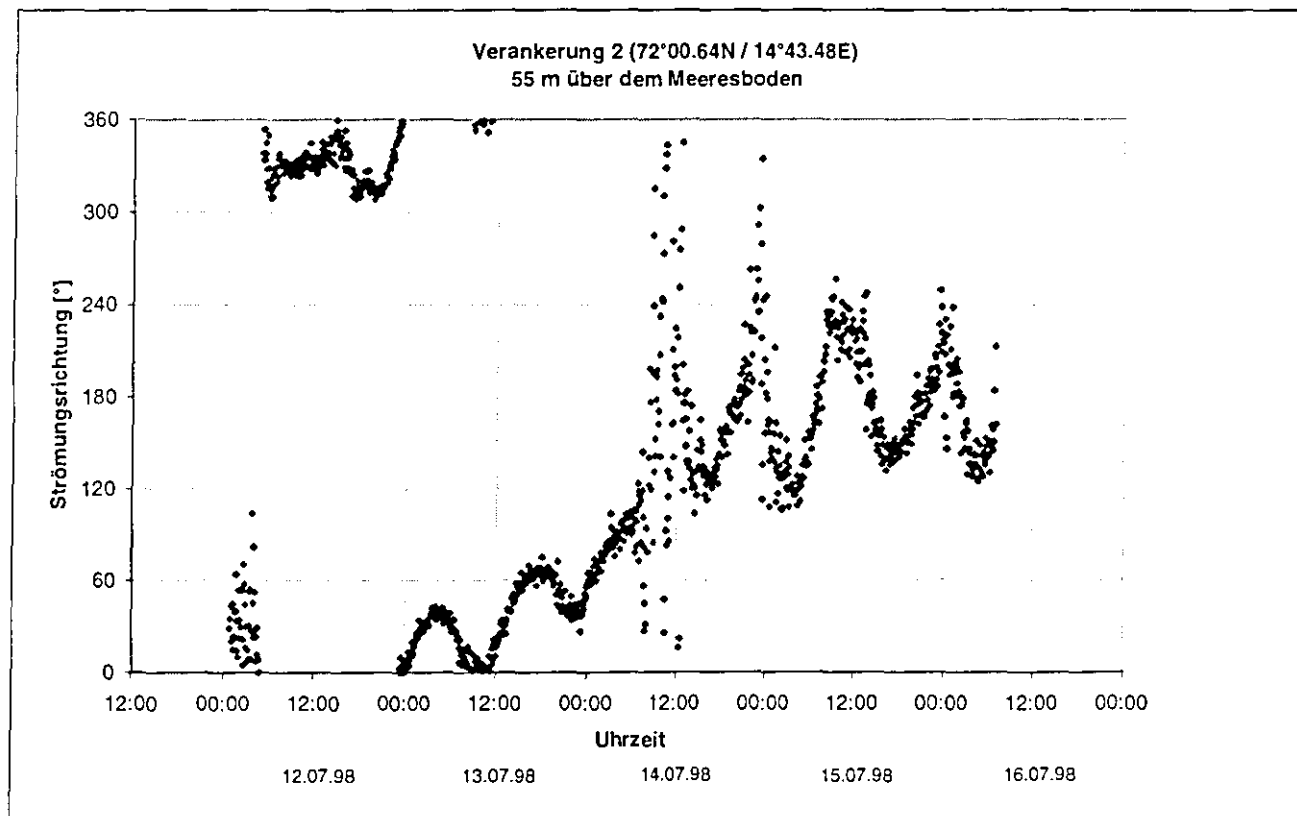


Abbildung 45: Verankerte Meßstation 2, Strömungsrichtungen 55 müMb.

Als erste Auswertung von Abbildung 42 bis Abbildung 45 können folgende Aussagen gemacht werden:

- Die Meßkurven zeigen in beiden Höhen den gleichen Trend.
- Die Strömungsrichtung zeigt während des Meßzeitraumes einen Trend von ca. 340° bis ca. 180° , d.h. die Strömungen ändern ihre Richtung signifikant.
- Die Daten weisen deutliche Schwankungen mit einer Periode von 12 Stunden auf, sie belegen also eindeutig eine Gezeitenabhängigkeit der Strömungen im Tiefenwasserbereich des oberen Kontinentalhanges. Die Schwankungen fallen 55 müMb deutlich stärker aus als 5 müMb.

Über weite Bereiche des Untersuchungsgebietes haben die vorherrschenden Strömungen ihre Spur in der Morphologie des Meeresbodens hinterlassen, was sich vor allem in sehr ausgeprägten Strömungsrippeln äußert (Abbildung 46).



Abbildung 46: Strömungsrippeln am Meeresboden

Zur Verdichtung des bestehenden Datensatzes über Wärmeflußmessungen wurden neun weitere Sondierungen durchgeführt. Innerhalb des Kraters ergaben mehrere Messungen thermische Gradienten von über $3000^\circ\text{C}/\text{km}$. Offensichtlich nimmt im Kraterbereich des HMMV die Temperatur im Sediment derart stark mit der Tiefe zu, daß die HSZ im HMMV nur eine sehr geringe Mächtigkeit

haben kann. Dies könnte bereits erklären, warum in den Sedimentkernen nur in einem limitierten Tiefenbereich Gashydrate vorgefunden wurden.

Eine weitere Entdeckung dieser Forschungsfahrt ist die bedeutende Rolle von Schwefelwasserstoff für die Entwicklung von Bakterienmatten auf chemisch stark reduzierten, dunklen Sedimenten.

Vorläufige Ergebnisse der Radioisotopenuntersuchungen (CO_2 -Angleichung, CH_4 -Oxidation) von Pogonophorengewebe zeigen einen Unterschied in der Ernährungsspezialisierung der beiden dominanten Röhrenwurmart, charakterisiert durch ihre unterschiedlichen Lebensräume. Verglichen mit *Oligobrachia* kommt *Sclerolinum* häufiger auf stärker oxidierten Sedimenten vor.

Es wurde bestätigt, daß der Schwefelwasserstoff im Sediment des HMMV eine komplizierte Herkunft hat. Der Hauptteil des Schwefelwasserstoffes steigt mit methanhaltiger Flüssigkeit ($\delta^{34}\text{S} \approx 1\text{‰}$) aus tieferen Sedimentlagen auf. Die Herkunft der zweiten Schwefelwasserstoffquelle steht in Verbindung mit den Aktivitäten sulfatreduzierender Bakterien. Durch die Verwendung von ^{35}S -Sulfat als Indikator konnte eine hohe Rate von bakteriellem Sulfatabbau in mit Bakterienmatten angereicherten Sedimentproben beobachtet werden.

Eine erste Untersuchung der Struktur der Bakterien in den beobachteten weißen Bakterienmatten am Meeresboden des HMMV wurde von den russischen Kollegen durchgeführt. Eine wichtige Komponente der Bakteriengruppen ist das farblose Bakterium *Beggiatoa sp.*, welches große Mengen Schwefel interzellulär einzulagern vermag. Morphomikrobiologische Untersuchungen der weißen Bakterienmatten lassen vermuten, daß außer *Beggiatoa* vermutlich Schwefelbakterien einer anderen Art sowie Thiobakterien auftreten. Unter Verwendung von ^{14}C -Methan, ^{14}C -Glukose und ^{35}S -Sulfat als Indikatoren ließ sich bei Sedimentproben, in denen Bakterienmatten vorhanden sind, eine hohe Rate an Methanoxidation, Sulfatabbau und Glukoseaufnahme feststellen.

Chemische Analysen wie die Raten der mikrobiellen Methanoxidation, CO_2 -Assimilation und Glukoseaufnahme wurden in der meeresbodennahen Wassersäule (1-100 müMb) durchgeführt, in der Methankonzentrationsanomalien festgestellt wurden. Erhöhte Raten zeigten sich dabei nur in bodennahen Wasserproben mit einem Methangehalt über 200 $\mu\text{l/l}$.

7.3 Vestnesa Rücken

Eine erste Interpretation der drei ORE-Seitensicht-Sonar-Profile (Abbildung 23) zeigte, daß die bereits in den SeaMARC II-Daten dargestellten Strukturen mit hoher Rückstreuung eine sehr komplexe Form und Textur aufweisen. Die Tauchgänge zeigten dann, daß diese Lokationen mit hoher Rückstreuung zumeist mit einem unebenen, hügeligen Meeresboden zusammentreffen und deshalb zumindest zum Teil durch kleinräumige Pockmarks erklärt werden können.

Inmitten der unebenen Felder befinden sich zahlreiche Flecken aus dunklen, chemisch reduzierten Sedimenten oder weißen bis blaugrauen Bakterienmatten. Erstere weisen einen Durchmesser von ca. 50 cm auf, zweitere sind mit Abmessungen im Bereich von mehreren Dezimetern bis einigen Metern zumeist deutlich größer. Die Flecken scheinen vergleichbar zu denen am HMMV zu sein; wie auch dort ist das dominante Bakterium von der Art *Beggiatoa sp.* vertreten, und es befinden sich dunkle, chemisch reduzierte Sedimente unterhalb der Bakterienmatten. Wie bereits am HMMV wurden Pogonophoren in der Nähe der Bakterienmatten entdeckt, die sich zum großen Teil als *Sclerolimum* erwiesen. Aus den genannten Anzeichen kann gefolgert werden, daß aktive Austrittsstellen von Fluiden und Gasen in der Kammregion des Vestnesa Rückens existieren.

Außerhalb der unebenen Felder wurde ein morphologisch eintöniger Meeresboden ohne herausragende Merkmale vorgefunden. Die sehr reichhaltige Lebewelt ist allerdings gleichmäßig über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt, sie konzentriert sich - im Gegensatz zum HMMV-Gebiet - nicht nur auf die Bereiche außergewöhnlicher Strukturen. Die vorgefundenen Arten sind die gleichen wie am HMMV, so daß auf ähnliche oder sogar identische Lebensbedingungen geschlossen werden kann.

Aufgrund der kleinräumigen Abmessungen der Austrittsstellen von Fluiden oder Gasen gelang es leider nicht, diese Strukturen mit dem Schwerelot oder der Wärmeflußsonde vom Schiff aus zu beproben; wir erhielten lediglich Kerne mit normalen Sedimenten und normale Wärmeflußmeßwerte. Die Entdeckung, Beschreibung und Beprobung der Strukturen wurde hier erst durch den Einsatz der MIR-Tauchboote ermöglicht. Im Rahmen der drei Tauchfahrten wurden diverse biologische sowie Sedimentproben mit den Tauchboot-Werkzeugen aufgenommen, deren Auswertung von den Projektpartnern durchgeführt wird.

Die im Bereich der Austrittsstellen genommenen Bodenwasserproben weisen, gemäß erster Analysen an Bord, einen geringen Methangehalt auf. Die aufgezeichneten Kurven der Methansensoren

(Abbildung 47) zeigen zunächst keine direkten Anhaltspunkte für erhöhte Methankonzentrationen. Eine detaillierte Aussage wird allerdings erst nach der Kalibrierung der Sensoren möglich sein.

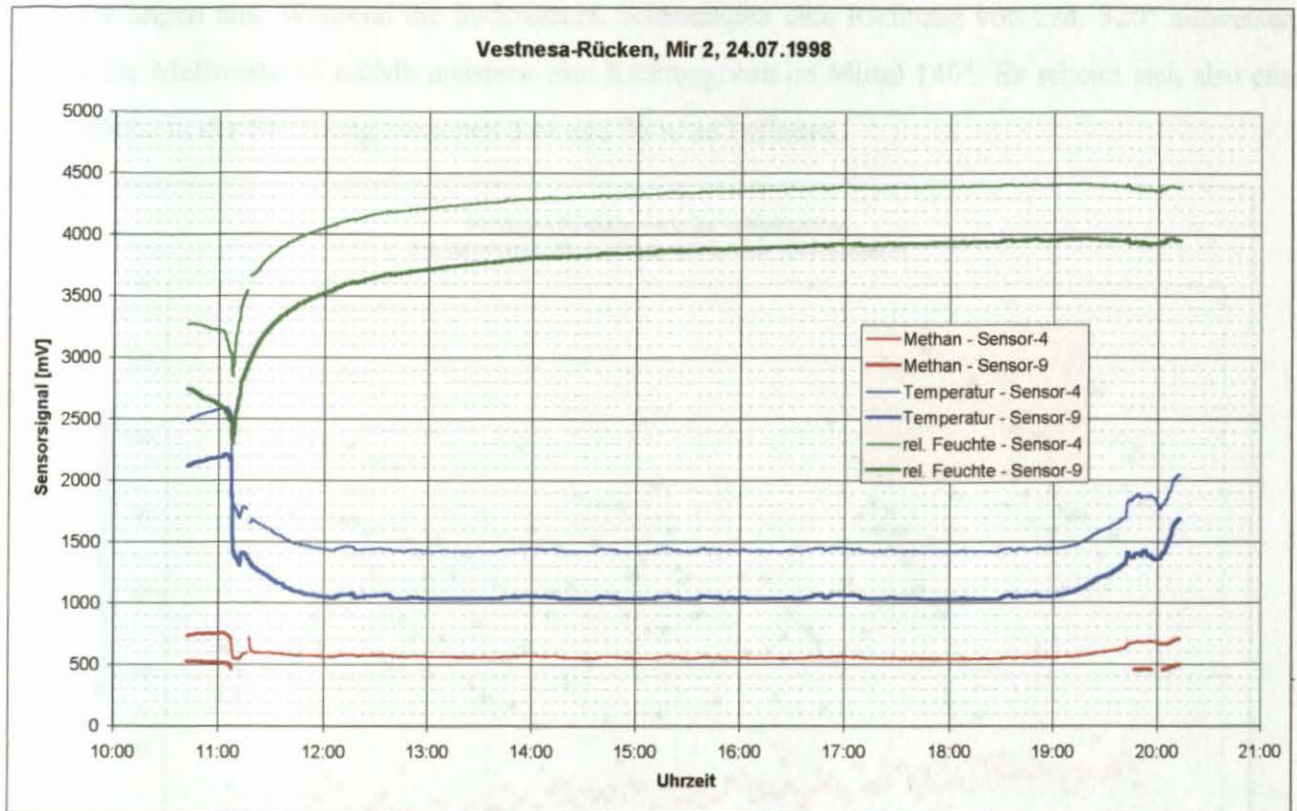


Abbildung 47: Meßkurven der Methansensoren vom Tauchgang der MIR 2 am 24.07.1998

Die Methan-Kurve des Sensors 4 zeigt einen nahezu ebenen Verlauf ohne signifikant herausragende Bereiche erhöhter Amplituden. Die Meßwerte des Sensors 9 bewegten sich zwischen der Abtauch- und Auftauchphase jenseits der unteren Grenze des Meßbereiches, so daß hier keine Datenaufzeichnung erfolgte.

Aufgrund der wiederholt aufgetretenen Probleme mit der Stromversorgung beim Tauchboot MIR 1, wurde während der Vestnesa-Tauchfahrt der MIR 1 lediglich ein Methansensor eingesetzt, dessen Energieversorgung über eigene Akkumulatoren anstelle der MIR-Batterien erfolgte. Die aufgezeichnete Meßkurve verläuft, ähnlich wie die Meßkurve des Sensors 4 von MIR 2, auf einem nahezu konstanten Niveau, wobei kleinere Amplitudenschwankungen direkt mit Schwankungen im aufgezeichneten Temperaturverlauf korrelieren.

Die Meßwerte der verankerten Meßstation (Abbildung 48, Abbildung 49) zeigen einen sehr interessanten Verlauf. Die wichtigsten Ergebnisse sind starke Unterschiede - sowohl in der Strömungsrichtung als auch in der Strömungsgeschwindigkeit - zwischen den beiden Meßeinheiten in 5 müMb (blau) und 55 müMb (orange). Die Strömungsgeschwindigkeiten zeigen 5 müMb eine starke Streuung zwischen ca. 30 cm/s und 100 cm/s. Derart hohe Werte werden 55 müMb mit im Mittel

10-15 cm/s nicht erreicht, zusätzlich weisen die Meßwerte dort auch keine große Streuung auf. Die Strömungsrichtungen der beiden Meßeinheiten zeichnen sich durch fast genau entgegengesetzte Orientierungen aus. Während die bodennahen Strömungen eine Richtung von i.M. 320° aufweisen, zeigen die Meßwerte 55 müMb meistens eine Richtung von im Mittel 140°. Es scheint sich also eine Scherfläche in der Strömung zwischen 5 m und 55 m zu befinden.

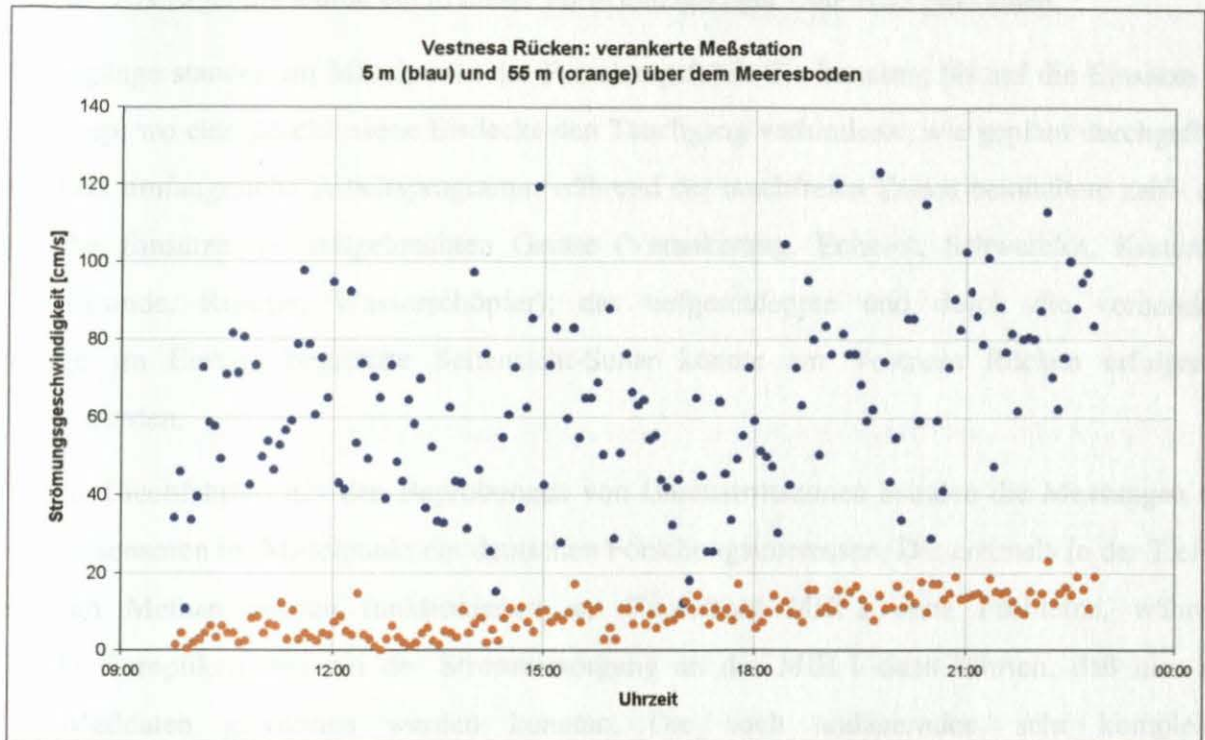


Abbildung 48: Strömungsgeschwindigkeiten am Vestnesa Rücken

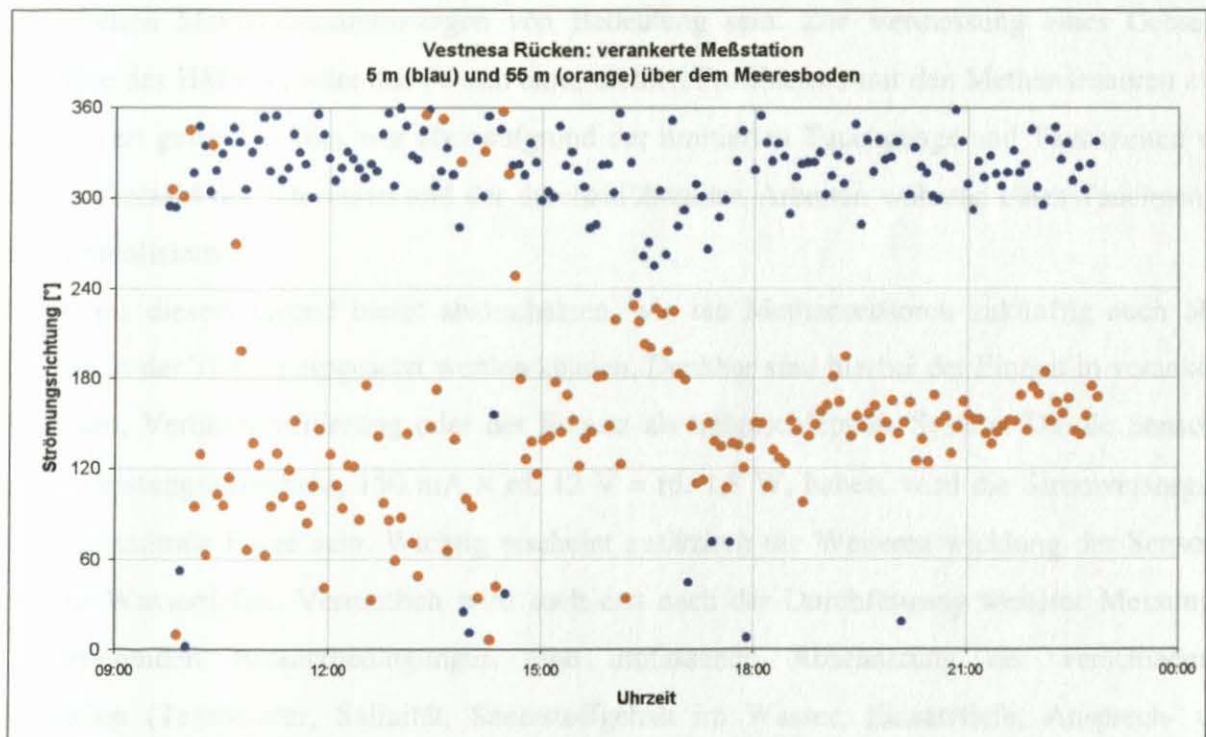


Abbildung 49: Strömungsrichtungen am Vestnesa Rücken

außerbetrachtung und Ausblick

ngsfahrt mit RV Akademik Mstislav Keldysh und den MIR-Tauchfahrten konnte mit g abgeschlossen werden. Mit internationaler und multidisziplinärer Kooperation verlief on bemannten Tauchbooten mit seiner Vielzahl von Meß- und Beprobungsapparaturen Als Ergebnis wurde ein in dieser Form einzigartiger Datensatz gewonnen.

nge standen im Mittelpunkt der Forschungsfahrt. Sie konnten, bis auf die Einsätze am , wo eine geschlossene Eisdecke den Tauchgang verhinderte, wie geplant durchgeführt umfangreiche Arbeitsprogramm während der tauchfreien Zeiten beinhaltete zahl- und Einsätze der mitgebrachten Geräte (Verankerung, Echolot, Schwerelot, Kastenlot, onde, Rosette, Wasserschöpfer); das tiefgeschleppte und durch die vorhandene im Einsatz begrenzte Seitensicht-Sonar konnte am Vestnesa Rücken erfolgreich erden.

Tauchfahrten mit den Beprobungen von Gasaustrittszonen standen die Messungen mit ensoren im Mittelpunkt der deutschen Forschungsinteressen. Die erstmals in der Tiefsee Methansensoren funktionierten am Tauchboot MIR 2 ohne Probleme, während Komplikationen bei der Stromversorgung an der MIR 1 dazu führten, daß hier nur 3daten gewonnen werden konnten. Die noch andauernden, sehr komplexen en werden auch im Hinblick auf die Aussagekraft und Verlässlichkeit der en Methandatenmessungen von Bedeutung sein. Zur Vermessung eines Gebietes, des HMMV, wäre das Fahren eines dichten Profilnetzes mit den Methansensoren zwar ert gewesen. Dies war aber aufgrund der limitierten Tauchgänge und Tauchzeiten und elzahl der Interessen und der durchzuführenden Arbeiten während eines Tauchganges ealisierbar.

s diesem Grund bleibt abzuschätzen, wie die Methansensoren zukünftig auch ohne n der Tiefsee eingesetzt werden können. Denkbar sind hierbei der Einbau in verankerte , Vertikalprofilierung oder der Einsatz als tiefgeschlepptes System. Da die Sensoren istungsaufnahme, $150 \text{ mA} \times \text{rd. } 12 \text{ V} = \text{rd. } 1,8 \text{ W}$, haben, wird die Stromversorgung zentrale Frage sein. Wichtig erscheint zusätzlich die Weiterentwicklung der Sensoren Vassertiefen. Vermutlich wird auch erst nach der Durchführung weiterer Messungen enden Einsatzbedingungen eine umfassende Abschätzung der verschiedenen n (Temperatur, Salinität, Sauerstoffgehalt im Wasser, Einsatztiefe, Ansprech- und a, Langzeitverhalten, Anströmrichtung und -geschwindigkeit, etc.) möglich sein.

doch zeigt bereits dieser erste Einsatz mit den Tauchbooten, daß die Methansensoren durchaus ein geeignetes und vielversprechendes Meßgerät bei der Erforschung der submarinen Methanbilanz sein können.

Die verankerten Meßstationen (mit RCM-9 Strömungsmessern der Fa. Aanderaa) konnten aus ökonomischen Gründen zwar nur an wenigen Untersuchungspunkten eingesetzt werden, sie erbrachten dort aber hervorragende Meßwerte, die bezüglich ihrer Genauigkeit, Auflösung und Dynamik überzeugen. Trotz der begrenzten Meßzeiten belegen die Strömungsdaten einerseits eine deutliche zeitenabhängigkeit auch im Tiefenwasserbereich des oberen norwegischen Kontinentalhanges (HMMV), andererseits zeigen sie an, daß signifikante Änderungen in Richtung und Geschwindigkeit bereits in den unteren Zehnermetern der Wassersäule auftreten können (Vestnesa Rücken). Darüber hinaus werden die gewonnenen Strömungsinformationen bei der Modellierung von Methanfahnen wichtige Informationen bereitstellen.

Die Bilddokumentation während der Tauchfahrten mittels Video- und Makrokamera erbrachte einen umfassenden Datensatz, der nicht nur für die Dokumentation und Veröffentlichung, sondern auch für die wissenschaftliche Auswertung von großem Wert ist. Exemplarisch sei hier nur die Erstellung einer Karte über die Bakterienmatten-Verteilung im Kratergebiet des HMMV genannt, die dann mit anderen Datensätzen, wie z.B. Methansondierungen und Wärmeflußmessungen, verknüpft werden soll. Internationale Aufmerksamkeit wird die Forschungsfahrt zusätzlich dann erfahren, wenn der Dokumentarfilm des National Geographic Arbeitsgruppe im 'Discovery Channel' ausgestrahlt wird.

9 Teilnehmerliste

Gorbach, Yuriy	Kapitän	Shirshov Intitute of Oceanology, Moskau, Russland
Titov, Andrey	1. Offizier	Shirshov Intitute of Oceanology, Moskau, Russland
Sluchevskiy, Alexander	1. Ingenieur	Shirshov Intitute of Oceanology, Moskau, Russland
Sagalevitch, Anatoly	Expeditionsleiter	Shirshov Intitute of Oceanology, Moskau, Russland
Bogdanov, Yury	1. Stellvertretender Expeditionsleiter	Shirshov Intitute of Oceanology, Moskau, Russland
Voitov, Dmitry	2. Stellvertretender Expeditionsleiter	Shirshov Intitute of Oceanology, Moskau, Russland
Tumantseva, Natalja	Wissenschaftliche Sekretärin	Shirshov Intitute of Oceanology, Moskau, Russland
Parchevskaya, Elena	Wissenschaftliche Sekretärin	Shirshov Intitute of Oceanology, Moskau, Russland
Aleksandrov, Andrei		Shirshov Intitute of Oceanology, Moskau, Russland
Chercashev, Georgy	Geologie	Shirshov Intitute of Oceanology, Moskau, Russland
Cherniaev, Evgeny	Tauchboot Mannschaft	Shirshov Intitute of Oceanology, Moskau, Russland
Egorov, Alexander	Methan	Shirshov Intitute of Oceanology, Moskau, Russland
Gebruk, Andrey	Biologie	Shirshov Intitute of Oceanology, Moskau, Russland
Ginsburg, Gabriel		VNIIOkeangeologia, St.Peterburg, Russland
Kaulio, Vitaly		VNIIOkeangeologia, St.Peterburg, Russland
Kozlovitch, Valeria	Meteorologie	Shirshov Intitute of Oceanology, Moskau, Russland
Krylova, Elena		Shirshov Intitute of Oceanology, Moskau, Russland
Lein, Alla	Mikrobiologie	Shirshov Intitute of Oceanology, Moskau, Russland
Matveeva, Tatjana		VNIIOkeangeologia, St.Peterburg, Russland
Mazurenko, Leonid		
Peresyppkin, Valery	Geochemie	Shirshov Intitute of Oceanology, Moskau, Russland
Pimenov, Nikolay		Institute of Microbiology, Moskau, Russland
Rusakov, Valera		Oceanology Intitute
Savvichev, Alex		
Stepanov, Mikhail		VNIIOkeangeologia, St.Peterburg, Russland
Vinogradov, Georgyi		

Brown, Robert		Woods Hole Oceanographic Institut, Woods Hole, USA
Crane, Kathleen	Geophysik	Naval Research Lab, Washington DC, USA
Downer, Ross	Geologie	Texas A&M University, College Station Texas, USA
Gardner, Joan		Naval Research Lab, Washington DC, USA
Gentile, William	Fotograf	National Geographic, Washington DC, USA
Grahowski, Ken	Geophysik	Naval Research Lab, Washington DC, USA
Hinchey, Elisabeth	Biologie	Virginia Institute of Marine Science, Virginia, USA
Joseph, Devorah	Geophysik	Naval Geographic Office, Mississippi, USA
Kristof, Emory	Fotograf	National Geographic, Washington DC, USA
Lindwall, Dennis		Naval Research Lab, Mississippi, USA
Moffet, Susanne	Mikropaläontologie	NAVO, Mississippi, USA
Petrone, Claude		National Geographic, Washington DC, USA
Vogt, Peter	Geophysik, Leiter der amerikan. Gruppe	Naval Research Lab, Washington DC, USA

Bünz, Stefan	Geophysik	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel, Deutschland
Gölz, Timo	Chemietechnik	Universität Dortmund, Deutschland
Karp, Tobias	Geophysik	SFB 313, Universität Kiel, Deutschland
Mienert, Jürgen	Geologie, Geophysik, Leiter der dt. Gruppe	Universität Tromsø, Norwegen GEOMAR Forschungszentrum, Kiel, Deutschland
Nicolai, Franz	Ingenieur	GKSS, Geesthacht, Deutschland
Omlin, Andreas	Geophysik	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel, Deutschland
Posewang, Jörg	Geophysik	SFB 313, Universität Kiel, Deutschland
Wilken, Manon	Geographie	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel, Deutschland

Gravdal, Arild	Geologie	Universität Bergen, Norwegen
Nilsen, Alf K.	Geologie	Universität Oslo, Norwegen
Petersen, Rolf B.	Geologie	Universität Bergen, Norwegen
Sundvor, Eirik	Geologie, Leiter der norw. Gruppe	Universität Bergen, Norwegen

Anderson, Michael Eric	Biologie	JLB Smith Institute of Ichthyology, Granmtown, Südafrika
---------------------------	----------	---

10 Dank

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie, Bonn (Projekt 03G0537A) und dem BEO in Warnemünde für die rasche und reibungslose Administration und Förderung des Projektes. Weiterhin möchten wir uns bei der Schiffsleitung der RV Akademik Mstislav Keldysh und den Tauchbootbesatzungen für ihre große Unterstützung bei den Einsätzen bedanken. Dieses internationale, von russischen, amerikanischen, norwegischen und deutschen Kollegen gemeinsam getragene Forschungsprojekt konnte vom 27. Juni 1998 - 29. Juli 1998 erfolgreich durchgeführt werden, wofür wir uns bei allen Beteiligten bedanken.

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Stabilitätskurve für Gashydrate; modifiziert aus: U.S. Geological Survey, http://abacus.er.usgs.gov/hydrates/what.html	4
Abbildung 2: Karte Nordwest-Europa mit den Untersuchungsgebieten, den Anlaufhäfen und der Fahrtroute	9
Abbildung 3: TOBI Seitensicht-Sonar-Aufnahme des Untersuchungsgebietes Storegga Rutschmasse, die Rahmen markieren die drei Arbeitsstationen (1) Schlammvulkan, (2) Rutschungs-Escarpment und (3) Pockmarks (zur Verfügung gestellt von J. Mienert, Koordinator des ENAM Projekts)	11
Abbildung 4: TOBI Seitensicht-Sonar-Aufnahme, Detail der Station 1 mit Tauchfahrt-Routen	12
Abbildung 5: TOBI Seitensicht-Sonar-Aufnahme, Detail der Station 2 mit Tauchfahrt-Routen	12
Abbildung 6: TOBI Seitensicht-Sonar-Aufnahme, Detail der Station 3 mit Tauchfahrt-Routen, die Pfeile markieren ausgewählte Pockmarks	13
Abbildung 7: Seitensicht-Sonar-Aufnahme vom Håkon Mosby Schlammvulkan (zur Verfügung gestellt von P. Vogt)	14
Abbildung 8: Tauchboot MIR 1 beim Ausbringen	16
Abbildung 9: Kernrohre	17
Abbildung 10: Vorderansicht des Tauchbootes MIR 2	17
Abbildung 11: Thermische Lanze	17
Abbildung 12: Methansensor, nach dem Einsatz	18
Abbildung 13: Methansensor, Einbauort an der Vorderfront des Tauchbootes MIR 2	19

Abbildung 14: Systemaufbau der verankerten Meßstation mit Fotos vom Einsatz.....	21
Abbildung 15: Große Wärme flu ß sonde.....	22
Abbildung 16: Rosette	22
Abbildung 17: Bathymetrische Karte der Station 1 mit Tauchrouten und Lokationen des Geräteinsatzes.....	24
Abbildung 18: Bathymetrische Karte der Station 2 mit Tauchrouten und Lokationen des Geräteinsatzes.....	25
Abbildung 19: Bathymetrische Karte der Station 3 mit Tauchrouten und Lokationen des Geräteinsatzes.....	26
Abbildung 20: Bathymetrische Karte des Håkon Mosby Schlammvulkans mit Lokationen des Geräteinsatzes.....	27
Abbildung 21: Bathymetrische Karte des Håkon Mosby Schlammvulkans mit Tauchrouten	28
Abbildung 22: Skizze der vermuteten Methanfahne mit der Position der verankerten Meßstationen	29
Abbildung 23: Seitensicht-Sonar-Aufnahme am Vestnesa Rücken	31
Abbildung 24: Unterwasseraufnahme mit Korallen und Schwämmen.....	33
Abbildung 25: Unkalibrierte Meßwerte der Methansensoren an der Storegga Rutschmasse, Station 1	34
Abbildung 26: Methankonzentration-Tiefe-Profil aus Analyse der Wasserproben mittels GC	34
Abbildung 27: Schnittskizze durch den Escarpment-Hang.....	35
Abbildung 28: Unkalibrierte Meßwerte der Methansensoren an der Storegga Rutschmasse, Station 2	36
Abbildung 29: Verankerte Meßstation, Strömungsgeschwindigkeiten 5 müMb.....	37
Abbildung 30: Verankerte Meßstation, Strömungsrichtungen 5 müMb.	37
Abbildung 31: Gorgonenhaupt (<i>Gorgonocephalus</i>).....	38
Abbildung 32: Unkalibrierte Meßwerte der Methansensoren an der Storegga Rutschmasse, Station 3	39
Abbildung 33: Methankonzentration-Tiefe-Profil aus Analyse der Wasserproben mittels GC	39
Abbildung 34: Verankerung, Storegga-Rutschmasse, Station 3, Strömungsgeschwindigkeiten 5 müMb.	40
Abbildung 35: Verankerte Meßstation, Storegga-Rutschmasse, Station 3, Strömungsrichtungen 5 müMb.	40
Abbildung 36: Diagramm zur Druckabhängigkeit der Methansensoren	42

Abbildung 37: Bakterienmatten am Meeresboden	43
Abbildung 38: Gashydratprobe aus Schwerelot-Kern	44
Abbildung 39: Meeresbodenfotografie mit Bakterienfeldern (inkl. dunklem Sediment (reduzierende Bedingungen)), Pogonophoren (auf den kleinen Erhebungen) und einigen <i>Fischen</i> (<i>Lycoides frigidus</i> , z.T. zusammengerollt auf dem Meeresboden liegend).....	45
Abbildung 40: Methankonzentration-Tiefe-Profil aus Analyse der Rosetten-Wasserproben mittels GC	46
Abbildung 41: Meßwerte der Methansensoren am HMMV	47
Abbildung 42: Verankerte Meßstation 2, Strömungsgeschwindigkeiten 5 müMb.....	48
Abbildung 43: Verankerte Meßstation 2, Strömungsrichtungen 5 müMb.	48
Abbildung 44: Verankerte Meßstation 2, Strömungsgeschwindigkeiten 55 müMb.....	49
Abbildung 45: Verankerte Meßstation 2, Strömungsrichtungen 55 müMb.	49
Abbildung 46: Strömungsrippeln am Meeresboden	50
Abbildung 47: Meßkurven der Methansensoren vom Tauchgang der MIR 2 am 24.07.1998	53
Abbildung 48: Strömungsgeschwindigkeiten am Vestnesa Rücken.....	54
Abbildung 49: Strömungsrichtungen am Vestnesa Rücken	54

12 Literaturverzeichnis

- Andreassen, K. & Hansen, T., 1995. Inferred gas hydrates offshore Norway and Svalbard. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 45, 10-34.
- Brooks, J.M., Barnard, L.A., Wiesenburg, M.C., Kennicutt II, M.C., Kvenvolden, K.A., 1983. Molecular and isotopic composition of hydrocarbons at site 533, Deep Sea Drilling Project Leg 76. In: Sheridan, R.E., Gradstein, F.M. et al., Initial Reports DSDP 76, Washington (U.S. Government Printing Office), 337-389.
- Brooks, J.M., Cox, H.B., Bryant, W.R., Kennicutt II, M.C., Mann, R.G. & McDonald, T.J., 1986. Association of gas hydrates and oil seepage in the Gulf of Mexico. *Organic Geochemistry*, 10, 221-234.
- Brooks, J.M., Field, M.E., Kennicutt II, M.C., 1991. Observations of gas hydrates in marine sediments, offshore Northern California. *Marine Geology*, 96, 103-109.
- Bugge, T., 1983. Submarine slides on the Norwegian Continental Margin, with special emphasis on the Storegga Area. Continental Shelf Institute, Norway, 110.
- Bugge, T., Befring, S., Belderson, R.H., Eidvin, T. et al., 1987. A giant three-stage submarine slide off Norway. *Geo-Marine Letters*, 7, 191-198.
- Dickens, G.R., O'Neil, J.R., Rea, D.K., Owen, R.M., 1995. Dissociation of oceanic methane hydrate as a cause of the carbon isotope excursion at the end of the Paleocene. *Paleoceanography*, 10, 965-971.
- Dickens, G.R., Paull, C.K., Wallace, P. & the ODP Leg 164 Party, 1997. Direct measurement of in situ methane quantities in a large gas-hydrate reservoir. *Nature*, 385, 426-428.
- Dillon, W.P., 1993. Gas hydrate detection and mapping on the U.S. East Coast. In: Malone, R.D., ed., Proceedings of the Fuels Technology Contractors Review Meeting: U.S. Department of Energy, Morgantown, West Virginia, DOE/METC-94/1002(DE94004065), 498-515.
- Dillon, W.P., Lee, M.W., Coleman, D.F., 1994. Identification of marine hydrates in situ and their distribution off the Atlantic Coast of the United States. In: Sloan, E.D., Jr., Happel, J., and Hnatow, M.A. (eds.), *Annals of the New York Academy of Sciences*, 715, 364-380.
- Eiken, O. & Hinz, K., 1993. Contourites in the Fram Strait. *Sedimentary Geology*, 82, 15-32.

- Ginsburg, G.D., Kremlev, A.N., Grigorev, M.N., Larkin, G.V., Pavlenkin, A.D. & Saltykova, N.A., 1990. Filtrogenic gas hydrates in the Black Sea (twenty-first voyage of the research vessel Evpatoriya). *Geologiya i Geofizika*, 31, 8-16.
- Ginsburg, G.D. & Soloviev, V.A., 1994. Mud volcano gas hydrates in the Caspian Sea. *Bulletin of the Geology Society of Denmark*, 41, 95-100.
- Holbrook, W.S., Hoskins, H., Wood, W.T., Stephen, R.A., Lizarralde, D. & the ODP Leg 164 Party, 1996. Methane hydrate and free gas on the Blake Ridge from vertical seismic profiling. *Science*, 273, 1840-1843.
- Hovland, M., Gallagher, J.W., Clennell, M.B., Lekvam, K., 1997. Gas hydrate and free gas volumes in marine sediments: Example from the Niger Delta front. In *Marine and Petroleum Geology*, 14, 245-255.
- Jansen, E., Befring, S., Bugge, T. et al., 1987. Large submarine slides on the Norwegian continental margin: sediments, transport and timing. *Marine Geology*, 78, 77-107.
- Kopf, A. & the Shipboard Scientific Party, ODP Leg 160, 1996. Mud volcanism on the Mediterranean Ridge – insights from the Milano and Napoli mud domes. *Proceedings of the 4th Post-cruise Meeting: 'Sedimentary Basins of the Mediterranean and Black Seas'*, Moscow.
- Laberg, J. & Vorren, T., 1993. A late Pleistocene submarine slide on the Bear Island Trough Mouth Fan. *Geo-Marine Letters*, 13, 227-234.
- Lee, M.W., Hutchinson, D.R., Dillon, W.P., Miller, J.J., Agena, W.F., Swift, B.A., 1993. Method of estimating the amount of in situ gas hydrates in deep marine sediments. *Marine and Petroleum Geology*, 10, 493-506.
- MacKay, M., Jarrad, R., Westbrook, G., Hyndman, R. & the Shipboard Scientific Party of ODP Leg 146, 1994. Origin of the bottom simulating reflector: Geophysical evidence from the Cascadia accretionary prism. *Geology*, 22, 459-462.
- McIver, R.D., 1982. Role of naturally occurring gashydrates in the sediment transport. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 66, 789-792.
- Mienert, J. et al., 1994. Cruise reports: RV LIVONIA cruise 92: GLORIA studies of the East Greenland continental margin between 70° and 80°N; RV POSEIDON PO 200/10: European North Atlantic Margin: sediment pathways, processes, and fluxes; RV AKADEMIK ALEKSANDR KARPINSKIY: Gas hydrates on the northern European continental margin. *GEOMAR Report 30*: 186 pp.

- Mienert, J. & Bryn, P., 1997. Gas hydrate drilling conducted on the European Margin. EOS, Transactions, American Geophysical Union, 1997, 78, 49, 567-571.
- Mienert, J. & Posewang, J., 1997. Flach- und Tiefwassergashydrate in Sedimenten polarer Kontinentalränder des Nordatlantiks: Geophysikalische Signale der Instabilität. Geowissenschaften, 9, 287-291.
- Mienert, J., 1998. The ENAM 24 month report, MAS3-CT95-0003, p. 205.
- Mienert, J., Posewang, J., Baumann, M., 1998. Geophysical signature of gas hydrates along the north-eastern Atlantic Margins: Possible hydrate-bound margin instabilities and possible transfer of methane from oceanosphere to atmosphere. In: Henriot, J.P. & Mienert, J., (eds). Gas hydrates: Relevance to world margin stability and climate change. Geological Society of London, Special Publication No. 137, 275-292.
- Paull, C.K., Matsumoto, R., Wallace, P., 1995. Gas hydrate sampling on the Blake Outer Ridge and Carolina Rise. Ocean Drilling Program, leg 164 Scientific Prospectus, 64, Texas.
- Pearson, C.F., Halleck, P.M., McGuire, P.L., Hermes, R., Matthews, M., 1983. Natural gas hydrate: a review of in situ properties. Journal of Physical Chemistry, 87, 4180-4185.
- Posewang, J., 1997. Nachweis von Gashydraten und freiem Gas in den Sedimenten des nordwesteuropäischen Kontinentalhangs mit hochauflösenden reflexionsseismischen Methoden und HF-OBS-Daten. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Berichte aus dem Sonderforschungsbereich 313, 68.
- Posewang, J. & Mienert, J., in press. The enigma of double BSRs: Indicators for changes in the hydrate stability field. Geo-Marine Letters.
- Posewang, J. & Mienert, J., in press. High-resolution seismic studies of gas hydrates west of Svalbard. Geo-Marine Letters.
- Shipley, T.H., Houston, M.H., Buffler, R.T., Shaub, F.J., McMillen, K.J., Ladd, J.W., Worzel, J.L., 1979. Seismic evidence for widespread possible gas hydrate horizons on continental slopes and rises. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 63, 2204-2213.
- Soloviev, V.A., Ginsburg, G.D., 1994. Formation of submarine gas hydrates. In Bulletin of the Geological Society of Denmark, 41, 86-94.

- Suess, E., Bohrmann, G., Greinert, J., Linke, P., Lammers, S., Zuleger, E. Wallmann, K., Sahling, H., Dählmann, A., Rickert, D., von Mirbach, N., 1997. Methanhydratfund von FS SONNE vor der Westküste Nordamerikas. *Geowissenschaften*, 15, 194-199.
- Vogt, P.R., Crane, K., Sundvor, E., Max, M.D., Pfirman, S.L., 1994. Methane-generated (?) pockmarks on young, thickly sedimented oceanic crust in the Arctic: Vestnesa ridge, Fram strait. *Geology*, 22, 255-258.
- Vogt, P.R., Cherkashev, G., Ginsburg, G., Ivanov, G., Milkov, A., Crane, K., Lein, A., Sundvor, E., Pimenov, N., Egorov, A., 1997. Haakon Mosby Mud Vulcano provides unusual example of venting. *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, 1997, 78, 48, 549, 556-557.

13 ANHANG: Liste aller Stationen

Liste aller Stationen

Arbeits- gebiet	Datum	Uhrzeit Beginn	Ende	Stationsnr.	Instrument	Art der Arbeit	Koordinaten Beginn Lat.	Beginn Long.	Ende Lat.	Ende Long.	Tiefe (m) Beginn	Ende	Ergebnis der Arbeit
Storegga Rutschmasse	30.06.98	08:40	14:20	3702		Test der Kabel und der 150 l Wasserschöpfer	64°41,75'N	4°29,69'E	64°40,51'N	4°28,60'E	1026	1096	alle Instrumente Einsatz bereit; Wasser bei 50 und 500 m Tiefe aufgenommen
	30.06.98	14:20	20:10	3703	Echolot	Echolotmessung	64°37,40'N	4°31,42'E	64°38,01'N	4°31,11'E	-	-	Erstellung der Bathymetrie
	30.06.98	20:10	20:35	3704	Mets	Funktionstest	64°38,01'N	4°31,11'E	64°37,93'E	4°31,56'E	1220	1225	Ausfall des Sensors
	30.06.98	21:08	23:00	3705	Wärmesonde	Wärmeflußmessungen	64°38,12'N	4°31,01'E	64°37,14'N	4°31,00'E			
		21:35		3705-1	Hit 1	Wärmeflußmessung	64°38,11'N	4°31,12'E			1223		74 mK/m
		21:56		3705-2	Hit 2	Wärmeflußmessung	64°38,17'N	4°31,18'E			1220		80 mK/m
		22:18		3705-3	Hit 3	Wärmeflußmessung	64°38,22'N	4°31,19'E	64°37,14'N	4°31,00'E	1216		70 mK/m
	01.07.98	23:40	01:27	3706	Kastenlot	Sedimentprobe	64°38,05'N	4°31,80'E	64°38,22'N	4°30,70'E	1235	1238	Probenlänge 204 cm
		00:48			Hit		64°38,05'N	4°31,81'E			1235		
	01.07.98	01:54	06:30	3707	150 l-Wasserschöpfer	Wasserproben	64°38,13'N	4°30,25'E	64°38,22'N	4°31,25'E	1233	1230	aus 0, 20, 50, 101, 303, 502, 750, 1151, 1231 m
	01.07.98	08:00	08:30	3708	Mets	2. Funktionstest bis 50 m Tiefe	64°36,73'N	4°30,22'E	64°35,95'N	4°29,99'E	1250	1258	kein Methan angezeigt; am Ende Ausfall des Sensors
	01.07.98	11:35	20:00	3709	Navigationssender	Aussetzung und Kalibrierung	64°40,00'N	4°30,96'E	64°38,30'N	4°31,30'E	1333	1180	
	01.07.98	21:52	23:00	3710	Kastenlot	Sedimentprobe	64°38,50'N	4°31,50'E	64°38,50'N	4°31,40'E	1180	1180	Probenlänge ca. 30 cm
		22:30			Hit		64°38,50'N	4°31,50'E			1180		
	02.07.98	00:20	01:40	3711	Schwerelot	Sedimentprobe	64°37,53'N	4°25,13'E	64°38,03'N	4°26,10'E	1280	1285	Kernlänge 3,83m
					Hit		64°37,51'N	4°24,96'E					
	02.07.98	12:04	20:23	3712	MIR 1	Tauchfahrt	64°37,34'N	4°30,56'E	64°38,16'N	4°29,68'E	1284	1260	Mienert, Sagalevitch
		13:49		3712-M1-1		Gesteinsprobe	64°37,81'N	4°30,78'E			1242		
		14:56		3712-M1-2		Sedimentprobe	64°38,07'N	4°31,10'E			1245		
		15:28		3712-M1-3		Gesteinsprobe	64°38,06'N	4°31,03'E			1237		
		15:58		3712-M1-4		Sedimentprobe	64°38,15'N	4°31,11'E			1238		
		19:19		3712-M1-5		Wasserprobe	64°37,43'N	4°30,03'E					30 l
		19:45		3712-M1-6		Wasserprobe	64°38,22'N	4°29,90'E					
	02.07.98	12:21	20:19	3713	MIR 2	Tauchfahrt	64°38,18'N	4°28,79'E	64°38,07'N	4°31,08'E	0	1259	Crane
		14:23		3713-M2-1		Sedimentprobe	64°38,30'N	4°29,10'E			1266		
		14:30		3713-M2-2		Gesteinsprobe	64°38,40'N	4°29,20'E			1267		
		14:54		3713-M2-3		Sedimentprobe	64°38,45'N	4°29,50'E			1260		
		20:19		3713-M2-4		Wärmeflußmessungen, Wasserprobe, Sedimentprobe	64°38,07'N	4°31,08'E			1259		nüßglückt

iste aller Stationen

Arbeits- gebiet	Datum	Uhrzeit Beginn	Ende	Stationsnr.	Instrument	Art der Arbeit	Koordinaten Beginn Lat.	Beginn Long.	Ende Lat.	Ende Long.	Tiefe (m) Beginn	Ende	Ergebnis der Arbeit
Storegga Rutschmasse	03.07.98	05:47		3714	Echolot	Echolotmessung	64°38,58'N	4°11,18'E			1428		Erstellung der Bathymetrie
	03.07.98	10:32 11:28	11:55	3715	Kastenlot Hit	Sedimentprobe	64°39,30'N 64°39,16'N	4°08,82'E 4°09,20'E	64°39,16'N	4°08,5'E	1300 1320	1420	Kernlänge 40 cm
	03.07.98	14:24	22:45	3716	Navigationssender	Aussetzung und Kalibrierung	64°38,50'N	4°09,1'E	64°38,8'N	4°08,9'E	1287		
	03.07.98	22:45	00:00	3717	Verankerung 1	Aussetzen	64°38,80'N	4°08,90'E	64°39,0'N	4°09,2'E	1312	1320	
	03.07.98	00:00	05:50	3718	Planktonnetz		64°38,07'N	4°09,29'E	64°38,1'N	4°13,39'E	1310	1420	Proben: 0-25, 21-192, 65-192, 655-1064, 1064-1160, 1158-1235, 700, 1225-1275, 5 masf
	04.07.98	06:45	08:56	3719	Wärmesonde	Wärmeflußmessung	64°39,00'N	4°08,99'E	64°38,66	4°10,79	1438	1420	73 mK/m 61 mK/m
		07:45		3719-1	Hit 1	Wärmeflußmessung	64°38,90'N	4°09,70'E			1438		
	04.07.98	08:02		3719-2	Hit 2	Wärmeflußmessung	64°38,90'N	4°09,80'E			1439		
	04.07.98	10:35 13:14 14:34 18:32 18:42 19:15 20:20 21:42	23:15	3720 3720-M1-1 3720-M1-4 3720-M1-2 3720-M1-3	MIR 1	Tauchfahrt Sedimentprobe Gesteinsprobe Wasserprobe Sedimentprobe Wasserprobe Sedimentprobe Wasserprobe	64°38,94'N 64°38,96'N 64°38,91'N 64°38,75'N 64°38,73'N 64°38,96'N 64°39,12'N 64°39,15'N	4°10,90'E 4°09,55'E 4°09,02'E 4°07,43'E 4°07,51'E 4°07,89'E 4°08,69'E 4°08,84'E	64°38,88'N	4°09,25'E	1430 1430 1425 1431 1409 1432 1400 1418	1320	Posewang Kernlänge 18 cm 30 l Kernlänge 16 cm Kernlänge 17,5 cm
	04.07.98	11:44 15:21 16:42 16:42 19:36 20:08	00:46	3721	MIR 2	Tauchfahrt Sedimentprobe Wärmeflußmessung Wasserprobe, Sedimentprobe Wasserprobe, Sedimentprobe Wasserprobe	64°38,42'N 64°38,96'N 64°38,88'N 64°38,88'N 64°38,91'N 64°39,13'N	4°08,55'E 4°08,21'E 4°08,58'E 4°08,58'E 4°09,98'E 4°09,93'E	64°39,2'N	4°10,81'E	1463 1439 1439 1423 1353		Vogt N 10 100 mK/m N3; N7 N4; N11 30 l
	05.07.98	03:21	09:25	3722	Echolot	Echolotmessung	64°44,00'N	4°46,98'E	64°44,49'N	4°48,68'E	823		Erstellung der Bathymetrie
	05.07.98	10:35	10:57	3723	Verankerung 2	Aussetzen	64°46,04'N	4°46,04'E	64°46,04'N	4°48,26'E	782		
	05.07.98	11:25	12:11	3724	Rosette	Wasserproben	64°46,06'N	4°48,22'E	64°45,64'N	4°47,12'E	782	802	
	05.07.98	12:11	23:22	3725	Navigationssender	Aussetzung und Kalibrierung	64°45,64'N	4°47,12'E	64°44,33'N	4°51,90'E	802		
	06.07.98	00:24	03:54	3726	Rosetten	Wasserproben	64°47,08'N	4°48,35'E	64°47,02'N	4°47,99'E	798	800	
		00:38		3726-1	Rosette 1	Wasserproben	64°47,08'N	4°48,35'E					100, 300, 500, 750 mbsl
		02:15		3726-2	Rosette 2	Wasserproben	64°47,04'N	4°48,36'E					20, 50 mbsl
	06.07.98	06:10	06:45	3727	Wärmesonde	Wärmeflußmessungen	64°47,10'N	4°48,90'E	64°47,10'N	4°49,30'E		828	47 mK/m
	06.07.98	07:10	08:35	3728	Kastenlot	Sedimentprobe	64°47,48'N	4°49,68'E	64°47,61'N	4°50,13'E			

Arbeits- gebiet	Datum	Uhrzeit Beginn	Ende	Stationsnr.	Instrument	Art der Arbeit	Koordinaten Beginn Lat.	Beginn Long.	Ende Lat.	Ende Long.	Tiefe (m) Beginn	Ende	Ergebnis der Arbeit
Storegga Rutschmasse	06.07.98	10:00	21:40	3729	MIR 1	Tauchtart	64°47,24'N	4°48,22'E	64°45,15'N	4°48,99'E			Micnert, Sagalevitch
		13:15				Biologische Probe	64°45,91'N	4°47,70'E			787		Kruste, Muscheln
		15:26		3729-M1-1		Biol./Gesteinsprobe	64°46,31'N	4°48,66'E					
		16:05		3726-M1-3		Sedimentprobe	64°46,31'N	4°48,17'E					
		16:05				Wasserprobe	64°46,31'N	4°48,17'E					
		17:38				Sedimentprobe	64°47,03'N	4°48,33'E			761		
		17:38				Wasserprobe	64°47,03'N	4°48,33'E			761		
		18:15		3729-M1-2		Biologische Probe	64°46,99'N	4°47,96'E			791		Seepalme
		20:01		3729-M1-4		Sedimentprobe	64°45,53'N	4°47,87'E			787		Kernlänge 13 cm
		20:01				Wasserprobe	64°45,53'N	4°47,87'E			787		30 l
	6-7.07.98	11:12	00:13	3730	MIR 2	Tauchtart	64°44,56'N	4°47,10'E	64°44,97'N	4°47,26'E	810		Bünz
		14:15				Wärmeflußmessung	64°44,38'N	4°48,00'E					Sediment verloren
		17:33		3730-M2-1		Sedimentprobe	64°44,45'N	4°48,10'E					Gorgonenhaupt
		17:33				Biologische Probe	64°44,45'N	4°48,10'E			810		Defekt an der Sonde
		19:04				Wärmeflußmessung	64°44,50'N	4°47,45'E					Kernlänge 30 cm
		19:42		3730-M2-2		Sedimentprobe	64°44,50'N	4°47,45'E					
		19:42			slurp gun	Biologische Probe	64°44,54'N	4°47,45'E			810		diverse Krustentuben
		20:24				Wasserprobe	64°44,57'N	4°47,46'E			810		
		20:27		3730-M2-4		Gesteinsproben	64°44,57'N	4°47,46'E			809		
		21:07				Wasserprobe	64°44,57'N	4°47,46'E					
	07.07.98	22:15				Wasserprobe	64°44,88'N	4°47,48'E					30 l
		22:24				Wärmeflußmessung	64°44,88'N	4°47,48'E					33,3 mK/m
		22:50		3730-M2-3		Sedimentprobe	64°44,88'N	4°47,48'E					Kernlänge 28 cm
		02:53	04:00	3731	Verankerung 2	Bergung	64°46,03'N	4°48,02'E	64°45,74'N	4°47,35'E			
	07.07.98	06:22	07:15	3732	Verankerung 1	Bergung	64°39,00'N	4°09,05'E	64°38,20'N	4°09,70'E			
	07.07.98	07:40	09:50	3733	Meeresgrund- schlupfnetz		64°46,06'N	4°48,22'E	64°45,64'N	4°47,12'E			

Liste aller Stationen

Arbeits- gebiet	Datum	Uhrzeit Beginn	Ende	Stationsnr.	Instrument	Art der Arbeit	Koordinaten Beginn Lat.	Beginn Long.	Ende Lat.	Ende Long.	Tiefe (m) Beginn	Ende	Ergebnis der Arbeit
Haakon Mosby Mud Volcano	09.07.98	00:51	00:57	3734	Seitensicht-Sonar	Kartieren	66°35,32'N	12°20,15'E	68°37,69'N	12°03,66'E	410	579	
	09.07.98	20:09	20:37	3735	11 Wasserschiepter	Wasserproben	72°00,20'N	14°43,75'E	72°00,16'N	14°43,73'E	1262	1269	0,508 µl/l
	09.07.98	21:05	22:19	3736	Kastenlot	Sedimentprobe	72°00,24'N	14°43,77'E	72°00,24'N	14°43,59'E	1261		Gasreiche Sedimentprobe
	09-10.07.98	22:38	00:56	3737	Wärme-sonde	Wärme-flußmessungen	72°00,26'N	14°43,61'E	72°00,09'N	14°43,02'E			Wärme-flußmessung an drei Punkten > 3000 mK/m > 3000 mK/m 81 mK/m
		23:10		3737-1		Wärme-flußmessung	72°00,26'N	14°43,63'E			1260		
		23:36		3737-2		Wärme-flußmessung	72°00,11'N	14°43,60'E			1264		
		00:02		3737-3		Wärme-flußmessung	72°00,08'N	14°43,43'E			1260		
	10.07.98	01:27	01:58	3738	Kastenlot	Sedimentprobe	71°59,74'N	14°43,53'E	71°59,74'N	14°43,50'E	1267	1268	
	10.07.98	02:48	03:47	3739	Schwerelot	Sedimentprobe	72°00,07'N	14°43,27'E	71°59,86'N	14°42,62'E	1260		Probenlänge ca. 2,2 m
	10.07.98	04:00	04:30	3740	11 Wasserschiepter	Wasserproben	71°59,99'N	14°41,16'E	72°00,17'N	14°39,76'E	1282	1295	0,210 µl/l
	10.07.98	06:10	09:30	3741	Meeresgrund- schleppnetz		71°56,62'N	14°20,39'E	72°01,18'N	14°24,1'E	1454	1480	
	10.07.98	10:00	22:45	3742	Navigationssender	Aussetzung und Kalibrierung	71°59,30'N	14°42,57'E	72°00,57'N	14°46,65'E			7 Navigationssender ausgesetzt
	10-11.07.98	23:37	04:35	3743	Planktonnetz	Planktonanalyse	72°00,09'N	14°43,25'E	72°03,23'N	14°42,43'E	1265	1202	Proben: 1545-1200 (5 masf), 1290-1255 (45 masf), 1200-1086 (90 masf), 1100-1029 (90m masf), 'Pinger' eingesetzt
	11.07.98	05:47	08:07	3744	Seitensichtsonar	Kartieren	72°03,8'N	14°41,1'E	71°59,38'N	14°43,77'E	1221	1270	
	11.07.98	10:10	20:35	3745	MIR 1	Tauchfahrt	72°00,58'N	14°43,79'E	72°00,64'N	14°43,31'E	1254	1270	Sagalevich, Bodganov
		12:00				Biologische Probe	72°00,64'N	14°44,18'E			1267		
		12:45				Sedimentprobe	72°00,56'N	14°44,05'E			1268		
		13:56				Gesteinsprobe	72°00,35'N	14°43,75'E			1270		
		15:34		3745-M1		Wasserprobe	72°00,20'N	14°43,20'E			1268		
		16:02				Sedimentprobe	72°00,16'N	14°42,95'E			1267		
		17:00				Gesteinsprobe	72°00,44'N	14°43,30'E			1270		
		17:50				Gesteinsprobe	72°00,23'N	14°43,30'E			1267		

Liste aller Stationen

Arbeits- gebiet	Datum	Uhrzeit Beginn	Ende	Stationsnr.	Instrument	Art der Arbeit	Koordinaten Beginn Lat.	Beginn Long.	Ende Lat.	Ende Long.	Tiefe (m) Beginn	Ende	Ergebnis der Arbeit							
Haakon Mosby Mud Volcano	11.07.98	11:10	22:58	3746	MIR 2	Tauchfahrt	71°57,21'N	14°43,79'E	72°00,29'N	14°44,98'E	1276	1253	Grabowski							
		14:29				Sedimentprobe	71°57,23'N	14°44,15'E			1269									
		16:07				Sedimentprobe	71°57,30'N	14°44,47'E			1260		2 Stick							
		16:07				Gesteinsproben	71°57,30'N	14°44,47'E			1260									
		16:07				Biol. Probe	71°57,30'N	14°44,47'E			1260		0,7 l							
		16:07				Wasserprobe	71°57,30'N	14°44,47'E			1260									
		17:00				Sedimentprobe	71°57,78'N	14°44,50'E			1275		0,7 l							
		17:00				Wasserprobe	71°57,78'N	14°44,50'E			1275									
		20:23				Biol. Probe	72°00,23'N	14°43,34'E					4007,5 mK/m							
		20:48				Wärmeflußmessung	72°00,23'N	14°43,63'E												
		20:48	Wasserprobe	72°00,23'N	14°43,63'E		1283		30 l											
	11-12.07.98	23:25	00:15	3747	Verankerung 1	Aussetzung	72°00,29'N	14°43,57'E			1260	1267								
	12.07.98	00:15	00:38	3748	Verankerung 2	Aussetzung	72°00,64'N	14°43,48'E			1267	1267								
	12.07.98	01:30	04:44	3749	Rosette	Wasserproben					1262	1278	0,769 µl/l 0,177 µl/l							
				3749-1		Wasserprobe	72°00,62'N	14°44,20'N												
				3749-2		Wasserprobe	72°00,29'N	14°44,11'E												
				3749-3		Wasserprobe	72°00,30'N	14°43,53'E												
				3749-4		Wasserprobe	72°00,18'N	14°43,65'E												
	12.07.98	05:38	06:37	3750	Schwerelot	Sedimentprobe	72°00,5'N	14°44,1'E			1253	1248								
	12.07.98	07:20	08:02	3751	Kastenlot	Sedimentprobe	71°59,61'N	14°43,46'E	71°59,71'N	14°43,61'E	1253	1208								
	12.07.98	10:00	20:30	3752	MIR 1	Tauchfahrt	72°00,88'N	14°43,85'E	72°00,88'N	14°44,36'E	1260	1250	Mienert							
						13:15	Sedimentprobe	72°00,31'N			14°43,75'E			1271						
						13:43	Sedimentprobe	72°00,21'N			14°43,88'E			1270						
						14:00	Gesteinsprobe	72°00,22'N			14°44,46'E		1271	Krustenprobe						
						14:26	Gesteinsprobe	72°00,13'N			14°44,25'E									
						16:21	Biol. Probe	72°00,15'N			14°43,22'E		1273							
16:21						Wasserproben	72°00,15'N	14°43,22'E			1273		2 Stick							
16:21						Sedimentproben	72°00,15'N	14°43,22'E			1273									
12.07.98	11:27	23:32	3753	MIR 2	Tauchfahrt	71°59,89'N	14°43,09'E	72°00,77'N	14°43,59'E	1262	1200	Gebruk								
					16:36	Biol. Probe	72°00,36'N			14°43,71'E			1288							
					17:06	Sedimentprobe	72°00,17'N			14°43,47'E		1287								
						Sedimentprobe	72°00,17'N			14°43,47'E		1287								
						Sedimentprobe	72°00,17'N			14°43,47'E		1287								
						Biol. Probe	72°00,17'N			14°43,47'E		1287								
						Wasserprobe	72°00,17'N			14°43,47'E		1287								
						Wärmeflußmessung	72°00,17'N			14°43,47'E		1287								

Arbeits- gebiet	Datum	Uhrzeit Beginn	Uhrzeit Ende	Stationnr.	Instrument	Art der Arbeit	Koordinaten Beginn Lat.	Beginn Long.	Ende Lat.	Ende Long.	Tiefe (m) Beginn	Ende	Ergebnis der Arbeit
Haakon Mosby Mud Volcano	13.07.98	08:40	14:56	3754 / 3755	1501 Wasserschießer	Wasserproben	72°01,26'N	14°36,23'E			1260	1305	2, 100, 200 masf, 900, 600, 400, 200 mlsl
	14.07.98	00:30	01:13	3756	Schwerlot	Sedimentprobe	72°00,33'N	14°43,43'E	72°00,45'N	14°42,05'E	1259,5	1270	Probenlänge 1 m
	14.07.98	01:48	03:39	3757	Wärmesonde	Wärmeflußmessungen	72°00,38'N	14°43,26'E	72°00,91'N	14°37,49'E	1258	1314	>3000 mK/m (1317)
		02:08		3757-1		Wärmeflußmessung	72°00,38'N	14°43,29'E			1256		148 mK/m
		02:32		3757-2		Wärmeflußmessung	72°00,52'N	14°42,22'E			1271		60 mK/m
		02:52		3757-3		Wärmeflußmessung	72°00,68'N	14°40,09'E			1289		
	14.07.98	04:35	05:18	3758	Schwerlot	Sedimentprobe	72°00,44'N	14°43,67'E	72°00,84'N	14°43,05'E	1258	1260	Probenlänge 2 m (mit Hydraten)
	14.07.98	06:20	07:25	3759	Schwerlot	Sedimentprobe	71°59,53'N	14°42,18'E	72°00,29'N	14°42,53'E	1289	1270	Probenlänge 2,5 m
	14.07.98	08:00	08:30	3760	11 Flasche	Wasserprobe	71°59,68'N	14°42,26'E					0,022 µl/l
	14.07.98	09:15	09:32	3761	11 Flasche	Wasserprobe	72°01,30'N	14°44,84'E					0,016 µl/l
	15.07.98		18:25	3762	Navigationssender	Aussetzung und Kalibrierung			72°00,17'N	14°39,70'E		1301	4 Sender ausgesetzt
	15.07.98	19:00	21:16	3763	Schwerlot	Sedimentprobe	72°00,47'N	14°42,93'E	72°00,47'N	14°42,93'E	1267		Probenlänge 2,5 m; Hydratschicht 0,65 - 0,95
	15.07.98	21:16	23:15	3764	Kastenlot	Sedimentprobe	71°59,48'N	14°44,27'E	71°59,50'N	14°42,65'E	1269	1278	Probenlänge 198 cm
	15-16.07.98	23:40	00:30	3765	Rosette	Wasserproben	72°00,24'N	14°42,80'E					5, 25, 45, 65, 85, 105 masf
	16.07.98	01:10	01:42	3766	Rosette	Wasserproben	72°00,16'N	14°43,33'E					5, 25, 45 masf, 200 500, 800 mlsl
	16.07.98	02:00	02:31	3767	11 Flasche	Wasserprobe	72°00,14'N	14°43,65'E					248,8 µl/l
	16.07.98	03:30	04:00	3768	11 Flasche	Wasserprobe	72°00,68'N	14°43,61'E					19,0 µl/l
	16.07.98	04:30	05:17	3769	11 Flasche	Wasserprobe	72°00,34'N	14°43,49'E					0,154 µl/l
	16.07.98	05:30	06:18	3770	11 Flasche	Wasserprobe	72°00,50'N	14°43,36'E					0,040 µl/l
	16.07.98	07:00	11:00	3771	Verankerung 2	Bergung	72°01,29'N	14°44,99'E					
	16.07.98	11:30	13:00	3772	Verankerung 1	Bergung	72°00,30'N	14°42,26'E					
	16.07.98	15:25	16:55	3775	1501 Wasserschießer	Wasserproben	71°59,87'N	14°42,04'E	71°59,77'N	14°38,13'E			
	16-17.07.98	18:30	04:30	3776	MIR 1	Tauchfahrt	72°00,21'N	14°44,90'E	72°00,23'N	14°43,28'E	1270	1271	Vinogradov, Kristof
		02:21				Sedimentproben	72°00,22'N	14°43,34'E			1271		
		02:21		3776-M1		Wasserproben	72°00,22'N	14°43,34'E			1271		
	16-17.07.98	20:00	05:30	3777	MIR 2	Tauchfahrt	72°00,37'N	14°43,83'E	72°00,64'N	14°44,53'E			Crane, Cherkashov
		20:33		Haakon 3	Wärmesonde	Wärmeflußmessung	72°00,37'N	14°43,83'E			1284		290 mK/m
		21:15		Haakon 4		Wärmeflußmessung	72°00,34'N	14°43,79'E			1286		863 mK/m
		22:35		Haakon 5		Wärmeflußmessung	72°00,28'N	14°43,80'E			1284		785 mK/m
		22:52	23:13		slurp gun	Biol. Proben	72°00,28'N	14°43,80'E			1284		bacterial mats, seafloor hydrates
		23:50		Haakon 6		Wärmeflußmessung	72°00,16'N	14°43,64'E			1286		1949 mK/m
		03:06		3777-M2		Wasserproben	72°00,33'N	14°43,54'E			1285		

iste aller Stationen

Arbeits- gebiet	Datum	Uhrzeit Beginn	Ende	Stationsnr.	Instrument	Art der Arbeit	Koordinaten Beginn Lat.	Beginn Long.	Ende Lat.	Ende Long.	Tiefe (m) Beginn	Ende	Ergebnis der Arbeit
Knipovich Rücken	18-19.07.98	14:36	01:20	3778	Navigationssender	Aussetzung und Kalibrierung	76°47,6'N	7°35,0'E			2454	3100	5 Sender
	19.07.98	01:30	02:50	3779	Echolot		76°46,40'N	7°19,98'E			3400		
	19.07.98	03:09	05:27	3780	Rosette	Wasserproben	76°47,60'N	7°21,66'E	76°46,72'N	7°22,21'E	3450	3453	Proben aus: 200, 1000, 2500, 3200, 3300, 3400
	19.07.98	06:35	08:04	3781	Schwerelot	Bodenprobe	76°47,02'N	7°21,21'E			3350	3343	
	19.07.98	12:47	20:58	3782	MIR 1	Tauchfahrt	76°47,13'N	7°23,48'E			3423		Pedersen
	19.07.98			3783	MIR 2	Tauchfahrt	76°47,00'N	7°24,00'E					Cherkashov
	20.07.98				MIR 1	Tauchfahrt	76°47,00'N	7°24,00'E					Sagalevitch, Bogdanov
	20.07.98				MIR 2	Tauchfahrt	76°47,00'N	7°24,00'E					Gebruk
Vestnesa Rücken	21.07.98				MIR 1	Tauchfahrt	76°47,00'N	7°24,00'E					Crane, Anderson
	24.07.98				ORE Seitensichtsonar								
	24.07.98	10:33	18:58	3795	MIR 1	Tauchfahrt	79°06,51'N	6°15,58'E	79°07,39'N	6°09,04'E	1265		Wilken
		14:41				Sedimentprobe	79°06,50'N	6°08,05'E			1254		Sediment verloren
		16:58				Wasserprobe	79°07,51'N	6°09,23'E					
		16:58				Sedimentprobe	79°07,51'N	6°09,23'E			1256		Sediment verloren
		17:01				Biol. Probe	79°07,51'N	6°09,23'E			1256		Muschel
		17:25				Sedimentprobe	79°07,17'N	6°09,34'E			1257		
		17:41				Sedimentprobe	79°07,17'N	6°09,34'E					from bacterial mat
		17:54				Sedimentprobe	79°07,17'N	6°09,34'E					from bacterial mat
		17:54				Wasserproben	79°07,17'N	6°09,34'E					2 Stick
	24.07.98	11:12	19:43	3796	MIR 2	Tauchfahrt	79°07,10'N	6°05,10'E	79°05,64'N	6°05,59'E			Vogt
		12:06					79°07,03'N	6°05,45'E			1256		
		13:45				Sedimentprobe	79°07,84'N	6°09,15'E			1269		
		16:40				Sedimentprobe	79°07,08'N	6°09,99'E			1267		
	25.07.98	01:45	03:45	3800-1	Wärmesonde	Wärmeflußmessung	79°07,65'N	6°07,42'E			1248		113 mK/m
		02:08		3800-2		Wärmeflußmessung	79°07,73'N	6°06,99'E			1247		118 mK/m
	25.07.98	11:44	18:19		MIR 2	Tauchfahrt	79°06,67'N	6°10,79'E	79°07,70'N	6°08,40'E			Sundvor
		12:36				Sedimentprobe	79°06,73'N	6°10,48'E			1273		
		14:36				Sedimentprobe	79°07,30'N	6°10,00'E			1291		
		17:10				Wasser-/Sed.probe	79°07,70'N	6°08,10'E			1280		
	25.07.98	20:50	22:50	3803-1	Wärmesonde	Wärmeflußmessung	79°07,34'N	6°09,38'E			1243		
	25.07.98	21:11	23:11	3803-2		Wärmeflußmessung	79°07,41'N	6°08,57'E			1244		105 mK/m



GEOMAR REPORTS

- 1 GEOMAR FORSCHUNGSZENTRUM FÜR MARINE GEOWISSENSCHAFTEN DER CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL. BERICHT FÜR DIE JAHRE 1987 UND 1988. 1989. 71 + 6 pp. In German
- 2 GEOMAR FORSCHUNGSZENTRUM FÜR MARINE GEOWISSENSCHAFTEN DER CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL. JAHRESBERICHT/ANNUAL REPORT 1989. 1990. 96 pp. In German and English
- 3 GEOMAR FORSCHUNGSZENTRUM FÜR MARINE GEOWISSENSCHAFTEN DER CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL. JAHRESBERICHT/ANNUAL REPORT 1990. 1991. 212 pp. In German and English
- 4 ROBERT F. SPIELHAGEN
DIE EISDRIFT IN DER FRAMSTRASSE WÄHREND DER LETZTEN 200.000 JAHRE. 1991. 133 pp.
In German with English summary
- 5 THOMAS C. W. WOLF
PALÄO-OZEANOGRAPHISCH-KLIMATISCHE ENTWICKLUNG DES NÖRDLICHEN NORDATLANTIKS SEIT DEM SPÄTEN NEOGEN (ODP LEGS 105 UND 104, DSDP LEG 81). 1991. 92 pp. In German with English summary
- 6 SEISMIC STUDIES OF LATERALLY HETEROGENOUS STRUCTURES – INTERPRETATION AND MODELLING OF SEISMIC DATA. Ed. by ERNST R. FLUEH
Commission on Controlled Source Seismology (CCSS), Proceedings of the 8th Workshop Meeting, held at Kiel – Fellhorst (Germany), August 27-31, 1990. 1991. 359 pp. In English
- 7 JENS MATTHIESSEN
DINOFAGELLATEN-ZYSTEN IM SPÄQUARTÄR DES EUROPÄISCHEN NORDMEERES: PALÖKOLOGIE UND PALÄO-OZEANOGRAPHIE. 1991. 104 pp. In German with English summary. Out of print
- 8 DIRK NÜRNBERG
HAUPT- UND SPURENELEMENTE IN FORAMINIFERENGESÄUEN – HINWEISE AUF KLIMATISCHE UND OZEANOGRAPHISCHE ÄNDERUNGEN IM NÖRDLICHEN NORDATLANTIK WÄHREND DES SPÄTQUARTÄRS. 1991. 117 pp. In German with English summary. Out of print
- 9 KLAS S. LACKSCHEWITZ
SEDIMENTATIONSPROZESSE AM AKTIVEN MITTELOZEANISCHEN KOLBEINSEY RÜCKEN (NÖRDLICH VON ISLAND). 1991. 133 pp. In German with English summary. Out of print
- 10 UWE PAGELS
SEDIMENTOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN UND BESTIMMUNG DER KARBONATLÖSUNG IN SPÄTQUARTÄREN SEDIMENTEN DES ÖSTLICHEN ARKTISCHEN OZEANS. 1991. 106 pp.
In German with English summary
- 11 FS POSEIDON. EXPEDITION 175 (9.10.-1.11.1990)
175/1: ÖSTGRÖNLÄNDISCHER KONTINENTALRAND (65°N)
175/2: SEDIMENTATION AM KOLBEINSEYRÜCKEN (NÖRDLICH VON ISLAND).
Hrsg. von J. MIENERT und H.-J. WALLRABE-ADAMS. 1992. 56 pp. + app. In German with some English chapters
- 12 GEOMAR FORSCHUNGSZENTRUM FÜR MARINE GEOWISSENSCHAFTEN DER CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL. JAHRESBERICHT/ANNUAL REPORT 1991. 1992. 152 pp. In German and English.
Out of print
- 13 SABINE E. I. KÖHLER
SPÄTQUARTÄRE PALÄO-OZEANOGRAPHISCHE ENTWICKLUNG DES NORDPOLARMEERES UND EUROPÄISCHEN NORDMEERES ANHAND VON SAUERSTOFF- UND KOHLENSTOFF-ISOTOPENVERHÄLTNISSEN DER PLANKTISCHEN FORAMINIFERE *Neoglobobulimina pachyderma* (sin.). 1992. 104 pp. In German with English summary
- 14 FS SONNE. FAHRTBERICHT S078 PERUVENT: BALBOA, PANAMA - BALBOA, PANAMA, 28.2.1992-16.4.1992
Hrsg. von ERWIN SUESS. 1992. 120 pp. In German with some English chapters. Out of print
- 15 FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON PALEOCEANOGRAPHY (ICP IV): SHORT- AND LONG-TERM GLOBAL CHANGE: RECORDS AND MODELLING. 21-25 SEPTEMBER 1992, KIEL/GERMANY.
PROGRAM & ABSTRACTS. 1992. 351 pp. In English
- 16 MICHAELA KUBISCH
DIE EISDRIFT IM ARKTISCHEN OZEAN WÄHREND DER LETZTEN 250.000 JAHRE. 1992. 100 pp.
In German with English summary
- 17 PERSISCHER GOLF: UMWELTGEFÄHRDUNG, SCHADENSERKENNUNG, SCHADENSBEWERTUNG AM BEISPIEL DES MEERESBODENS; ERKENNEN EINER ÖKOSYSTEMVERÄNDERUNG NACH ÖLEINTRÄGEN. Schlußbericht zu den beiden BMFT-Forschungsvorhaben 03F0055 A + B. 1993. 108 pp. In German with English summary
- 18 TEKTONISCHE ENTWÄSSERUNG AN KONVERGENTEN PLATTENRÄNDERN / DEWATERING AT CONTINENTAL MARGINS. Hrsg. von/ed. by ERWIN SUESS. 1993. 196 + 32 + 68 + 16 + 22 + 38 + 4 + 19 pp.
Some chapters in English, some in German
- 19 THOMAS DICKMANN
DAS KONZEPT DER POLARISATIONSMETHODE UND SEINE ANWENDUNGEN AUF DAS SEISMISCHE VEKTORWELLENFELD IM WEITWINKELBEREICH. 1993. 121 pp. In German with English summary
- 20 GEOMAR FORSCHUNGSZENTRUM FÜR MARINE GEOWISSENSCHAFTEN DER CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL. JAHRESBERICHT/ANNUAL REPORT 1992. 1993. 139 pp. In German and English

- 21 KAI UWE SCHMIDT
PALYNOMORPHE IM NEOGENEN NORDATLANTIK - HINWEISE ZUR PALÄO-OZEANOGRAPHIE UND
PALÄOKLIMATOLOGIE. 1993. 104 + 7 + 41 pp. In German with English summary
- 22 UWE JÜRGEN GRÜTZMACHER
DIE VERÄNDERUNGEN DER PALÄO GEOGRAPHISCHEN VERBREITUNG VON *Bolboforma* - EIN BEITRAG ZUR
REKONSTRUKTION UND DEFINITION VON WASSERMASSEN IM TERTÄR. 1993. 104 pp.
In German with English summary
- 23 RV PROFESSOR LOGACHEV. Research Cruise 09 (August 30 - September 17, 1993): SEDIMENT DISTRIBUTION ON
THE REYKJANES RIDGE NEAR 59°N. Ed. by H.-J. WALLRABE-ADAMS & K.S. LACKSCHEWITZ. 1993. 66 + 30 pp.
In English
- 24 ANDREAS DETTMER
DIATOMEEN-TAPHOZÖNOSEN ALS ANZEIGER PALÄO-OZEANOGRAPHISCHER ENTWICKLUNGEN IM
PLIOZÄNEN UND QUARTÄREN NORDATLANTIK. 1993. 113 + 10 + 25 pp. In German with English summary
- 25 GEOMAR FORSCHUNGSZENTRUM FÜR MARINE GEOWISSENSCHAFTEN DER CHRISTIAN-ALBRECHTS-
UNIVERSITÄT ZU KIEL. JAHRESBERICHT/ANNUAL REPORT 1993. 1994. 69 pp. In German and English
- 26 JÖRG BIALAS
SEISMISCHE MESSUNGEN UND WEITERE GEOPHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNGEN AM SÜD-SHETLAND
TRENCH UND IN DER BRANSFIELD STRASSE - ANTARKTISCHE HALBINSEL. 1994. 113 pp.
In German with English summary
- 27 JANET MARGARET SUMNER
THE TRANSPORT AND DEPOSITIONAL MECHANISM OF HIGH GRADE MIXED-MAGMA IGIMBRITE TL, GRAN
CANARIA: THE MORPHOLOGY OF A LAVA-LIKE FLOW. 1994. 224 pp. In English with German summary. Out of print
- 28 GEOMAR LITHOTHEK. Ed. by JÜRGEN MIENERT. 1994. 12 pp + app. In English. Out of print
- 29 FS SONNE. FAHRTBERICHT SO 97 KODIAK-VENT: KODIAK - DUTCH HARBOR - TOKYO - SINGAPUR, 27.7.-
19.9.1994. Hrsg. von ERWIN SUESS. 1994. Some chapters in English, some in German. Out of print
- 30 CRUISE REPORTS:
RV LIVONIA CRUISE 92, KIEL-KIEL, 21.8.-17.9.1992: GLORIA STUDIES OF THE EAST GREENLAND CONTINENTAL
MARGIN BETWEEN 70° AND 80°N
RV POSEIDON PO200/10, LISBON-BREST-BREMERHAVEN, 7.-23.8.1993: EUROPEAN NORTH ATLANTIC
MARGIN: SEDIMENT PATHWAYS, PROCESSES AND FLUXES
RV AKADEMIK ALEKSANDR KARPINSKIY, KIEL-TROMSØ, 5.-25.7.1994: GAS HYDRATES ON THE NORTHERN
EUROPEAN CONTINENTAL MARGIN
Edited by JÜRGEN MIENERT. 1994. 186 pp.
In English; report of RV AKADEMIK ALEKSANDR KARPINSKIY cruise in English and Russian
- 31 MARTIN WEINELT
BECKENENTWICKLUNG DES NÖRDLICHEN WIKING-GRABENS IM KÄNOZOIKUM -
VERSENKUNGSGESCHICHTE, SEQUENZSTRATIGRAPHIE, SEDIMENTZUSAMMENSETZUNG. 1994. 85 pp.
In German with English summary
- 32 GEORG A. HEISS
CORAL REEFS IN THE RED SEA: GROWTH, PRODUCTION AND STABLE ISOTOPES. 1994. 141 pp.
In English with German summary
- 33 JENS A. HÖLEMANN
AKKUMULATION VON AUTOCHTHONEM UND ALLOCHTHONEM ORGANISCHEM MATERIAL IN DEN
KÄNOZOISCHEN SEDIMENTEN DER NORWEGISCHEN SEE (ODP LEG 104). 1994. 78 pp.
In German with English summary
- 34 CHRISTIAN HASS
SEDIMENTOLOGISCHE UND MIKROPALÄONTOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUR ENTWICKLUNG DES
SKAGERRAKS (NE NORDSEE) IM SPÄTHOLOZÄN. 1994. 115 pp. In German with English summary
- 35 BRITTA JÜNGER
TIEFENWASSERERNEUERUNG IN DER GRÖNLANDSEE WÄHREND DER LETZTEN 340.000 JAHRE / DEEP
WATER RENEWAL IN THE GREENLAND SEA DURING THE PAST 340,000 YEARS. 1994. 6 + 109 pp.
In German with English summary
- 36 JÖRG KUNERT
UNTERSUCHUNGEN ZU MASSEN- UND FLUIDTRANSPORT ANHAND DER BEARBEITUNG
REFLEXIONSEISMISCHER DATEN AUS DER KODIAK-SUBDUKTIONSZONE, ALASKA. 1995. 129 pp.
In German with English summary
- 37 CHARLOTTE M. KRAWCZYK
DETACHMENT TECTONICS DURING CONTINENTAL RIFTING OFF THE WEST IBERIA MARGIN: SEISMIC
REFLECTION AND DRILLING CONSTRAINTS. 1995. 133 pp. In English with German summary
- 38 CHRISTINE CAROLINE NÜRNBERG
BARIUMFLUSS UND SEDIMENTATION IM SÜDLICHEN SÜDATLANTIK - HINWEISE AUF
PRODUKTIVITÄTSÄNDERUNGEN IM QUARTÄR. 1995. 6 + 108 pp. In German with English summary
- 39 JÜRGEN FRÜHN
TEKTONIK UND ENTWÄSSERUNG DES AKTIVEN KONTINENTALRANDES SÜDÖSTLICH DER KENAI-HALBINSEL,
ALASKA. 1995. 93 pp. In German with English summary
- 40 GEOMAR FORSCHUNGSZENTRUM FÜR MARINE GEOWISSENSCHAFTEN DER CHRISTIAN-ALBRECHTS-
UNIVERSITÄT ZU KIEL. JAHRESBERICHT/ANNUAL REPORT 1994. 1995. 125 pp. In German and English.
Out of print
- 41 FS SONNE. FAHRTBERICHT / CRUISE REPORT SO 103 CONDOR 1 B: VALPARAISO-VALPARAISO, 2-21.7.1995.
Hrsg. von ERNST R. FLUEH. 1995. 140 pp. Some chapters in German, some in English

- 42 RV PROFESSOR BOGOROV CRUISE 37: CRUISE REPORT "POSETIV": VLADIVOSTOK-VLADIVOSTOK, September 23 - October 22, 1994. Edited by CHRISTOPH GAEDICKE, BORIS BARANOV, and EVGENY LELIKOV. 1995. 49 + 33 pp. In English
- 43 CHRISTOPH GAEDICKE
DEFORMATION VON SEDIMENTEN IM NANKAI-AKKRETIONSKEIL, JAPAN. BILANZIERUNG TEKTONISCHER VORGÄNGE ANHAND VON SEISMISCHEN PROFILEN UND ERGEBNISSEN DER ODP-BOHRUNG 808. II + 89 pp. In German with English summary
- 44 MARTIN ANTONOW
SEDIMENTATIONSMUSTER UM DEN VESTERIS SEAMOUNT (ZENTRALE GRÖNLANDSEE) IN DEN LETZTEN 250.000 JAHREN. 1995. 121 pp. In German with English summary
- 45 INTERNATIONAL CONGRESS: CORING FOR GLOBAL CHANGE - ICGC '95. KIEL, 28 - 30 June, 1995. Edited by JÜRGEN MIENERT and GEROLD WEFER. 1996. 83 pp. In English
- 46 JENS GRÜTZNER
ZUR PHYSIKALISCHEN ENTWICKLUNG VON DIAGENETISCHEN HORIZONTEN IN DEN SEDIMENTBECKEN DES ATLANTIKS. 1995. 96 pp. In German with English summary
- 47 INGO A. PECHER
SEISMIC STUDIES OF BOTTOM SIMULATING REFLECTORS AT THE CONVERGENT MARGINS OFFSHORE PERU AND COSTA RICA. 1996. 159 pp. In English with German summary
- 48 XIN SU
DEVELOPMENT OF LATE TERTIARY AND QUATERNARY COCCOLITH ASSEMBLAGES IN THE NORTHEAST ATLANTIC. 1996. 120 pp. + 7 pl. In English with German summary
- 49 FS SONNE - FAHRTBERICHT/CRUISE REPORT SO108 ORWELL: SAN FRANCISCO - ASTORIA, 14.4. - 23.5.1996 Edited by ERNST R. FLUEH and MICHAEL A. FISHER. 1996. 252 pp. + app. In English with German summary
- 50 GEOMAR FORSCHUNGSZENTRUM FÜR MARINE GEOWISSENSCHAFTEN DER CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL. JAHRESBERICHT/ANNUAL REPORT 1995. 1996. 93 pp. In German and English
- 51 THOMAS FUNCK
STRUCTURE OF THE VOLCANIC APRON NORTH OF GRAN CANARIA DEDUCED FOM REFLECTION SEISMIC, BATHYMETRIC AND BOREHOLE DATA. 1996.VI, 144 pp. In English with German summary
- 52 PETER BRUNS
GEOCHEMISCHE UND SEDIMENTOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DAS SEDIMENTATIONSVERHALTEN IM BEREICH BIOSTRATIGRAPHISCHER DISKONTINUITÄTEN IM NEOGEN DES NORDATLANTIK, ODP LEG 104, SITES 642B UND 643A. 1996. V, 73 pp. In German with English summary
- 53 CHRISTIANE C. WAGNER
COLD SEEPS AN KONVERGENTEN PLATTENRÄNDERN VOR OREGON UND PERU: BIOGEOCHEMISCHE BESTANDSAUFNAHME. 1996. 108, XXXVI pp. In German with English summary
- 54 FRAUKE KLINGELHÖFER
MODEL CALCULATIONS ON THE SPREADING OF SUBMARINE LAVA FLOWS. 1996. 98 pp. In English with German summary
- 55 HANS-JÜRGEN HOFFMANN
OBJEKTORIENTIERTE ANALYSE UND MIGRATION DIFFRAKTIERTER WELLENFELDER UNTER VERWENDUNG DER STRAHLENMETHODE UND DER EDGE-WAVE-THEORIE. 1996. XXI, 153 pp. In German with English summary
- 56 DIRK KLÄSCHEN
STRAHLENSEISMISCHE MODELLIERUNG UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON MEHRFACHDIFFRAKTIONEN MIT HILFE DER EDGE-WAVES: THEORIE UND ANWENDUNGSBEISPIELE 1996. X, 159 pp. In German with English summary
- 57 NICOLE BIEBOW
DINOFLAGELLATENZYSTEN ALS INIKATOREN DER SPÄT- UND POSTGLAZIALEN ENTWICKLUNG DES AUFTRIBSGESCHEHENS VOR PERU. 1996. IV, 100, 17, 14 (7 pl.) pp. In German with English summary
- 58 RV SONNE. CRUISE REPORT SO109: HYDROTRACE ASTORIA-VICTORIA-ASTORIA-VICTORIA. MAY 23 - JULY 8, 1996. Ed. by PETER HERZIG, ERWIN SUESS, and PETER LINKE. 1997. 249 pp. In English
- 59 RV SONNE. CRUISE REPORT SO110: SO - RO (SONNE - ROPOS). VICTORIA-KODIAK-VICTORIA. JULY 9 - AUGUST 19, 1996. Ed. by ERWIN SUESS and GERHARD BOHRMANN. 1997. 181 pp. In English
- 60 RV AKADEMIK M. A. LAVRENTYEV CRUISE 27. CRUISE REPORT: GREGORY. VLADIVOSTOK-PUSAN-OKHOTSK SEA-PUSAN-VLADIVOSTOK. SEPTEMBER 7 - OCTOBER 12, 1996. Ed. by DIRK NÜRNBERG, BORIS BARANOV, and BORIS KARP. 1997. 143 pp. In English
- 61 GEOMAR FORSCHUNGSZENTRUM FÜR MARINE GEOWISSENSCHAFTEN DER CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL. JAHRESBERICHT / ANNUAL REPORT 1996. 1997. 169 pp. In German and English
- 62 FS SONNE. FAHRTBERICHT/CRUISE REPORT SO123: MAMUT (MAKRAN MURRAY TRAVERSE - GEOPHYSIK PLATTENTEKTONISCHER EXTREMFÄLLE). Maskat - Maskat, 07.09 - 03.10.1997. Ed. by ERNST R. FLUEH, NINA KUKOWSKI, and CHRISTIAN REICHERT. 1997. 292 pp. In English with German summary
- 63 RAINER ZAHN
NORTH ATLANTIC THERMOHALINE CIRCULATION DURING THE LAST GLACIAL PERIOD: EVIDENCE FOR COUPLING BETWEEN MELT-WATER EVENTS AND CONVECTIVE INSTABILITY. 1997. 133 pp. In English
- 64 FS SONNE. FAHRTBERICHT/CRUISE REPORT SO112 HIRESBAT (HIGH RESOLUTION BATHYMETRY). Victoria, B.C., Canada - Apra Harbor, Guam. 17.09 - 08.10.1996. Hrsg. von WILHELM WEINREBE. 1997. 90 pp. Some chapters in German, some in English

- 65 NIELS NORGAARD-PEDERSEN
LATE QUATERNARY ARCTIC OCEAN SEDIMENT RECORDS: SURFACE OCEAN CONDITIONS AND
PROVENANCE OF ICE-RAFTED DEBRIS. 1997. 115 pp. In English with German summary
- 66 THOMAS NÄHR
AUTHIGENER KLINOPTILOLITH IN MARINEN SEDIMENTEN - MINERALCHEMIE, GENESE UND MÖGLICHE
ANWENDUNG ALS GEOTHERMOMETER. 1997. 119, 43 pp. In German with English summary
- 67 MATTIAS KREUTZ
STOFFTRANSPORT DURCH DIE BODENGRENZSCHICHT: REGIONALISIERUNG UND BILANZIERUNG FÜR DEN
NORDATLANTIK UND DAS EUROPÄISCHE NORDMEER. 1998. IV, 166 pp. In German with English summary
- 68 AMIT GULATI
BENTHIC PRIMARY PRODUCTION IN TWO DIFFERENT SEDIMENT TYPES OF THE KIEL FJORD (WESTERN
BALTIC SEA). 1998. 139 pp. In English with German summary
- 69 RÜDIGER SCHACHT
DIE SPÄT- UND POSTGLAZIALE ENTWICKLUNG DER WOOD- UND LIEFDEFJORDREGION
NORDSPITZBERGENS. In prep. 187 pp. In German with English summary
- 70 GEOMAR FORSCHUNGSZENTRUM FÜR MARINE GEOWISSENSCHAFTEN DER CHRISTIAN-ALBRECHTS-
UNIVERSITÄT ZU KIEL. JAHRESBERICHT/ANNUAL REPORT 1997. 1998. 155 pp. In German and English
- 71 FS SONNE. FAHRTBERICHT/CRUISE REPORT SO118 BIGSET (BIOGEOCHEMICAL TRANSPORT OF MATTER
AND ENERGY IN THE DEEP SEA). MUSCAT (OMAN) - MUSCAT (OMAN). 31.03.-11.05.1997. Ed. by OLAF
PFANNKUCHE and CHRISTINE UTECHT. 1998. 188 pp. In English
- 72 FS SONNE. FAHRTBERICHT/CRUISE REPORT SO131 SINUS (SEISMIC INVESTIGATIONS AT THE NINETY EAST
RIDGE OBSERVATORY USING SONNE AND JOIDES RESOLUTION DURING ODP LEG 179). KARACHI -
SINGAPORE. 04.05-16.06.1998. Ed. by ERNST R. FLUEH and CHRISTIAN REICHERT. 1998. 337 pp. In English
- 73 THOMAS RICHTER
SEDIMENTARY FLUXES AT THE MID-ATLANTIC RIDGE: SEDIMENT SOURCES, ACCUMULATION RATES, AND
GEOCHEMICAL CHARACTERISATION. 1998. IV, 173 + 29 pp. In English with German summary
- 74 BARBARA MARIA SPRINGER
MODIFIKATION DES BODENNAHEN STRÖMUNGSREGIMES UND DIE DEPOSITION VON SUSPENDIERTEM
MATERIAL DURCH MAKROFAUNA. In print. 112 pp. In German
- 75 SABINE JÄHMLICH
UNTERSUCHUNGEN ZUR PARTIKELDYNAMIK IN DER BODENGRENZSCHICHT DER MECKLENBURGER
BUCHT. 1999. 139 pp. In German
- 76 WOLFRAM W. BRENNER
GRUNDLAGEN UND ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN DER MIKRO-ABSORPTIONSPHOTOMETRIE FÜR
ORGANISCH-WANDIGE MIKROFOSSILIEN. In print. 141 pp. In German with English summary
- 77 SUSAN KINSEY
TERTIARY BENTHIC FORAMINIFERAL BIOSTRATIGRAPHY AND PALAEOECOLOGY OF THE HALTEN TERRACE,
NORWAY. In print. 145 pp. In English with German summary
- 78 HEIDI DOOSE
REKONSTRUKTION HYDROGRAPHISCHER VERHÄLTNISSE IM CALIFORNIENSTROM UND IM
EUROPÄISCHEN MITTELMEER ZUR BILDUNGSZEIT ORGANISCH KOHLENSTOFFREICHER SEDIMENTE. In print.
111 pp. + app. In German with English summary
- 79 CLAUDIA WILLAMOWSKI
VERTEILUNGSMUSTER VON SPURENMETALLEN IM GLAZIALEN NORDATLANTIK: REKONSTRUKTION DER
NÄHRSTOFFBILANZ ANHAND VON CADMIUMKONZENTRATIONEN IN KALKSCHALIGEN FORAMINIFEREN.
1999. 86, XXI pp. In German with English summary
- 80 FS SONNE. FAHRTBERICHT/CRUISE REPORT SO129. BIGSET (BIOGEOCHEMICAL TRANSPORT OF MATTER
AND ENERGY IN THE DEEP SEA). PORT SULTAN QUABOOS - DUBAI. JANUARY 30 - MARCH 9, 1998.
Ed. by OLAF PFANNKUCHE and CHRISTINE UTECHT. In print. 107 pp. In English
- 81 FS SONNE. FAHRTBERICHT/CRUISE REPORT SO138. GINCO-2 (GEOSCIENTIFIC INVESTIGATIONS ON THE
ACTIVE CONVERGENCE ZONE BETWEEN THE EAST EURASIAN AND AUSTRALIAN PLATES ALONG INDONESIA).
JAKARTA - JAKARTA. 29.12.1998 - 28.01.1999. Ed. by ERNST R. FLUEH, BERND SCHRECKENBERGER, and JÖRG
BIALAS. 1999. 333 pp. In English
- 82 CRUISE REPORTS: KOMEX I and II (KURILE OKHOTSK SEA MARINE EXPERIMENT)
RV PROFESSOR GAGARINSKY CRUISE 22
RV AKADEMIK M. A. LAVRENTYEV CRUISE 28
VLADIVOSTOK - PUSAN - OKHOTSK SEA - PUSAN - VLADIVOSTOK. 7 JULY - 12 SEPTEMBER 1998.
Ed. by NICOLE BIEBOW and EDNA HÜTTEN. 1999. In English
- 83 GREGOR REHDER
QUELLEN UND SENKEN MARINEN METHANS ZWISCHEN SCHELF UND OFFENEM OZEAN. REGIONALE
VARIABILITÄT UND STEUERENDE PARAMETER DER METHANVERTEILUNG UND DER AUSTAUSCH MIT DER
ATMOSPHERE. In print. 161, 20 pp. In German with English summary
- 84 SVEN-OLIVER FRANZ
PLIOZÄNE ZEITREIHEN ZUR REKONSTRUKTION DER TIEFENWASSERZIRKULATION UND DER
SILIZIKLASTISCHEN AMAZONASFRACHT IM ÄQUATORIALEN WESTATLANTIK
(CEARA SCHWELLE, ODP LEG 154). In print. 183 pp. In German with English summary
- 85 SYLKE HLAWATSCH
Mn-Fe-AKKUMULATE ALS INDIKATOR FÜR SCHAD- UND NÄHRSTOFFFLÜSSE IN DER WESTLICHEN OSTSEE.
In prep. 132 pp. In German with English summary

- 86 BETTINA GEHRKE
ZUSAMMENSETZUNG UND VERTEILUNG DER LITHOGENEN FEINFRAKTION IN SPÄTQUARTÄREN
SEDIMENTEN DES MITTELATLANTISCHEN REYKJANES RÜCKENS (59°N) - TONMINERALE ALS INDIKATOREN
FÜR LIEFERGEBIETE, TRANSPORTMECHANISMEN UND ABLAGERUNGSPROZESSE. In prep. 102 pp.
In German with English summary
- 87 JENS GREINERT
REZENTE SUBMARINE MINERALBILDUNGEN: ABBILD GEOCHEMISCHER PROZESSE AN AKTIVEN
FLUIDAUSSTRITTSSTELLEN IM ALEUTEN- UND CASCADIA-AKKRETIONSKOMPLEX. 196,XX pp.
In German with English summary
- 89 FS SONNE. FAHRTBERICHT/CRUISE REPORT SO136. TASQWA (QUATERNARY VARIABILITY OF WATER
MASSES IN THE SOUTHERN TASMAN SEA AND THE SOUTHERN OCEAN, SW PACIFIC SECTOR).
WELLINGTON - HOBART. OCTOBER 16 - NOVEMBER 12, 1998. Ed. by JÖRN THIEDE, STEFAN NEES et al. 78, 106
pp. In English
- 90 FS SONNE. FAHRTBERICHT/CRUISE REPORT SO142. HULA (INTERDISCIPLINARY INVESTIGATIONS ON
THE TIMING OF THE HAWAII-EMPEROR BEND AND THE ORIGIN OF LITHOSPHERIC ANOMALIES ALONG THE
MUSICIAN SEAMOUNT CHAIN. MIDWAY - HONOLULU. MAY 30 - JUNE 28, 1999. Ed. by ERNST R. FLUEH,
JOHN O'CONNOR, JASON PHIPPS MORGAN, AND JOCHEN WAGNER. 224 pp. In English
- 91 J. HAUSCHILD, T. GINDLER, D. RISTOW, A. BERHORST, C. BÖNNEMANN, K. HINZ
DFG-FORSCHUNGSPROJEKT „KRUSTENSPLITTER“. 3D-MAKRO-GESCHWINDIGKEITSBESTIMMUNGEN UND
3D-TIEFENMIGRATION DES SEISMISCHEN 3D-COSTA-RICA-DATENSATZES. 85 pp. 1999.
In German with English summary
- 92 FS AKADEMIK MSTISLAV KELDYSH. Fahrtbericht Reise Nr. 40: Norwegisch-Grönländische See, 27.6.-29.7.1998.
Hrsg. von J. MIENERT, A. OMLIN, T. GÖLZ, D. LUKAS, J. POSEWANG. 64 + 7 pp. 1999. In German
- 93 GEOMAR FORSCHUNGSZENTRUM FÜR MARINE GEOWISSENSCHAFTEN DER CHRISTIAN-ALBRECHTS-
UNIVERSITÄT ZU KIEL. JAHRESBERICHT/ANNUAL REPORT 1998. 1999. In German and English
- 94 FS SONNE. FAHRTBERICHT/CRUISE REPORT SO144-1&2. PAGANINI (PANAMA BASIN AND GALAPAGOS
"PLUME" - NEW INVESTIGATIONS OF INTRAPLATE MAGMATISM). SAN DIEGO - CALDERA. SEPTEMBER 7 -
NOVEMBER 7, 1999. Ed. by JÖRG BIALAS, ERNST R. FLUEH, AND GERHARD BOHRMANN. In English